

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 0 876 554 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
02.11.2000 Patentblatt 2000/44

(51) Int Cl.7: **F02N 11/04**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/DE96/01622**

(21) Anmeldenummer: **96937172.3**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 97/08456 (06.03.1997 Gazette 1997/11)**

(22) Anmeldetag: **31.08.1996**

### (54) **STARTER/GENERATOR FÜR EINEN VERBRENNUNGSMOTOR, INSBESONDERE EINES KRAFTFAHRZEUGS**

STARTER/GENERATOR FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, IN PARTICULAR A VEHICLE ENGINE

DEMARREUR/GENERATEUR POUR MOTEUR A COMBUSTION INTERNE, NOTAMMENT D'AUTOMOBILE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

(30) Priorität: **31.08.1995 DE 19532135**  
**31.08.1995 DE 19532163**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.11.1998 Patentblatt 1998/46**

(73) Patentinhaber:  
• **Continental ISAD Electronic Systems GmbH & Co. KG**  
**86899 Landsberg (DE)**  
• **GRÜNDL UND HOFFMANN GmbH**  
**GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROTECHNISCHE ENTWICKLUNGEN**  
**82319 Starnberg (DE)**

(72) Erfinder:  
• **MASBERG, Ullrich**  
**D-51503 Rösrath (DE)**  
• **PELS, Thomas**  
**D-46359 Heiden (DE)**  
• **ZEYEN, Klaus-Peter**  
**D-50670 Köln (DE)**

• **GRÜNDL, Andreas**  
**D-81377 München (DE)**  
• **HOFFMANN, Bernhard**  
**D-82319 Starnberg (DE)**

(74) Vertreter:  
**von Samson-Himmelstjerna, Friedrich R.,**  
**Dipl.-Phys. et al**  
**SAMSON & PARTNER**  
**Widenmayerstrasse 5**  
**80538 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  

<b>EP-A- 0 569 347</b>	<b>WO-A-91/16538</b>
<b>FR-A- 2 563 280</b>	<b>US-A- 3 774 303</b>
<b>US-A- 3 902 073</b>	<b>US-A- 3 974 396</b>
<b>US-A- 4 797 602</b>	<b>US-A- 4 803 376</b>
<b>US-A- 4 883 973</b>	<b>US-A- 4 958 095</b>
<b>US-A- 5 125 236</b>	<b>US-A- 5 325 042</b>

  
• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 007 (E-571), 9.Januar 1988 & JP 62 166749 A (FANUC LTD), 23.Juli 1987,**  
• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 649 (E-1468), 2.Dezember 1993 & JP 05 211258 A (HITACHI LTD;OTHERS: 01), 20.August 1993,**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs.

[0002] Kraftfahrzeuge und andere mit Verbrennungsmotor ausgerüstete Fahrzeuge benötigen i.a. einen elektrischen Starter zum Starten des Verbrennungsmotors sowie einen Generator zur Versorgung elektrischer Verbraucher sowie zum Laden einer Batterie, welche u. a. die zum Starten benötigte elektrische Energie liefert. Seit der Frühzeit des Automobilbaus sind Starter und Generator in der Regel zwei gesonderte elektrische Maschinen, die an ihre jeweilige Funktion besonders angepaßt sind. Ein Starter muß relativ hohe Drehmomente bei relativ niedriger Verbrennungsmotor-Drehzahl aufbringen und ist daher herkömmlicherweise hoch gegenüber dem Verbrennungsmotor übersetzt. Er läuft nicht dauernd mit, sondern wird nur für den Startvorgang mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Ein Generator läuft hingegen permanent mit dem Verbrennungsmotor und erreicht bei relativ hoher Übersetzung hohe Drehzahlen.

[0003] Die Vereinigung dieser beiden Funktionen in ein und derselben elektrischen Maschine ist ein anstrengenswertes Ziel, da hierdurch eine der beiden herkömmlicherweise benötigten Maschinen eingespart werden kann.

[0004] Eine Möglichkeit, trotz der unterschiedlichen Anforderungen an Starter und Generator beide Maschinen zu vereinen, ist aus G. Henneberger: "Elektrische Motorausrüstung", Vieweg, Braunschweig 1990, S. 98 - 103 bekannt. Gemäß diesem Vorschlag startet die elektrische Maschine - bei der es sich um eine wechselrichtergesteuerte Drehfeldmaschine handelt - den Verbrennungsmotor nicht selbst, sondern beschleunigt ein (zunächst vom Verbrennungsmotor entkoppeltes) Schwungrad. Bei Erreichen einer ausreichend hohen Drehzahl wird das Schwungrad mit Hilfe einer Reibkupplung mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors gekoppelt. Die im Schwungrad gespeicherte Rotationsenergie wirft dann den Verbrennungsmotor an. Im Generatorbetrieb ist die elektrische Maschine permanent durch die Reibkupplung mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Diese Lösung hat den Vorteil, daß die Leistungen und Drehmomente der elektrischen Maschine beim Starten und im Generatorbetrieb ähnlich sind. Nachteilig sind aber die große mechanische Belastung der Reibkupplung beim Einkuppeln des schnell laufenden Schwungrads, die u.a. zu Kupplungsverschleiß führt, sowie eine Totzeit vor jedem Startvorgang, welche jeweils zum Beschleunigen des Schwungrads benötigt wird.

[0005] Aus der PCT/SE91/00272 ist eine elektrische Asynchronmaschine bekannt, die alternativ als Generator oder als Starter arbeiten kann. Sie ist über ein Steuergerät mit einer Batterie gekoppelt. Ein weiterer Starter/Generator ist beispielsweise aus der EP-A-0 569

347 bekannt.

[0006] Die Erfindung stellt einen Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs bereit, mit einer elektrischen Drehfeldmaschine, welche die Starter- und Generatorfunktion ausübt; und wenigstens einem Wechselrichter, der die für die magnetischen Felder der elektrischen Maschine benötigten Spannungen und/oder Ströme variabler Frequenz, Amplitude und/oder Phase durch sinusbewertete Pulsmodulation mit einer Taktfrequenz größer 10 kHz erzeugt; wobei der Wechselrichter einen Zwischenkreis mit einem gegenüber einem Bordnetz erhöhten Spannungsniveau aufweist; und wobei der Wechselrichter im Zwischenkreis mit einem Energiespeicher zum Speichern von Energie für den Starterbetrieb ausgerüstet ist; wobei sowohl die Energieentnahme aus dem Zwischenkreis im Starterbetrieb der elektrischen Maschine als auch die Energieeinspeisung in den Zwischenkreis im Generatorbetrieb auf dem erhöhten Spannungsniveau erfolgt (Anspruch 1).

[0007] Eine "elektrische Maschine" ist jede Art von Maschine für Rotationsbewegungen, die sowohl als elektrischer Motor wie auch als elektrischer Generator betrieben werden kann. Unter "Drehfeldmaschine" wird - im Gegensatz zu einer Stromwendermaschine - eine insbesondere kommutatorlose Maschine verstanden, in der ein magnetisches Drehfeld auftritt, das vorzugsweise 360° überstreicht.

[0008] Der Wechselrichter kann die für die magnetischen Felder benötigten Spannungen und/oder Ströme mit (innerhalb gewisser Grenzen) frei wählbarer Frequenz, Amplitude und/oder Phase erzeugen.

[0009] Vorzugsweise startet die elektrische Maschine den Verbrennungsmotor im Zusammenlauf aus dem Stand (Anspruch 2). Bei einem "Zusammenlauf" bleibt das Verhältnis der momentanen Drehzahlen des elektrischen Motors und des Antriebsaggregats - im Unterschied zu dem o.g. Schwungradstarter - im wesentlichen konstant (und zwar hat es insbesondere den Wert Eins). Zusammenlauf "aus dem Stand" bedeutet, daß die elektrische Maschine und das Antriebsaggregat - anders als bei dem o.g. Schwungrad-Starter - gemeinsam aus dem Stand hochlaufen.

[0010] Aufgrund des Zusammenlaufs aus dem Stand

- erfolgt das Starten schnell und ohne Totzeit,
- ist der Starter/Generator praktisch verschleißfrei,
- erreicht der Starter/Generator einen relativ hohen Wirkungsgrad (da keine Energie für Kupplungserwärmung und -verschleiß verbraucht wird),
- kann die Kupplung zwischen Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine entfallen.

[0011] Die elektrische Maschine läuft - anders als ein herkömmlicher Starter - vorteilhaft permanent mit dem Verbrennungsmotor. Eine dort benötigte Einspur- und Freilaufvorrichtung kann daher hier entfallen.

**[0012]** Vorzugsweise sind die Relativdrehzahlen von Verbrennungsmotor und elektrischer Maschine im Starter- und Generatorbetrieb gleich (Anspruch 3). Das heißt, die Übersetzung der elektrischen Maschine ist bei beiden Betriebsarten gleich, und wird nicht etwa beim Übergang vom Starter- zum Generatorbetrieb verringert.

**[0013]** Grundsätzlich kann die Kopplung der elektrischen Maschine mit einer Triebwelle des Verbrennungsmotors mittelbar sein, z.B. über ein Getriebe. Bevorzugt ist die elektrische Maschine aber direkt mit der Triebwelle des Verbrennungsmotors (z.B. der Kurbelwelle) oder eines Triebstrangs (z.B. der Antriebswelle einer Kupplung oder eines Gangschalt- oder Automatikgetriebes) gekoppelt oder koppelbar (Anspruch 4). Unter einer "direkten" Kopplung wird insbesondere eine getriebelose Kopplung des Läufers der elektrischen Maschine mit der Triebwelle verstanden. Es handelt sich also nicht etwa um eine indirekte Kopplung über Ritzel oder Zugmittel (z.B. Keilriemen). Die Drehzahl des Läufers gleicht vorzugsweise der Drehzahl des Verbrennungsmotors.

**[0014]** Besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei welcher die elektrische Maschine auf der Triebwelle oder einer ggf. koppelbaren Verlängerung sitzt und drehfest mit ihr verbunden ist (Anspruch 5). Vorteile sind ein relativ geringer Aufwand aufgrund der kleinen Anzahl beweglicher und kraftübertragender Teile, Verschleißfreiheit sowie vollständige Geräuschlosigkeit beim Starten.

**[0015]** Die elektrische Drehfeldmaschine ist vorzugsweise eine Asynchronmaschine, eine Synchronmaschine oder eine Reluktanzmaschine, insbesondere für Drehstrom, z.B. Drei-Phasen-Strom (Anspruch 6). Eine Asynchronmaschine hat i.a. einen relativ einfach aufgebauten Läufer (i. a. einen Läufer mit Kurzschlußwicklungen oder Wicklungen, deren Enden an Schleifringe geführt sind), in dem durch die magnetischen Drehfelder des Ständers, die der Bewegung des Läufers voroder nachhelfen, Ströme induziert werden. Sie weist daher hinsichtlich der Erstellungskosten und der mechanischen Belastbarkeit Vorteile auf, ist jedoch steuerungstechnisch aufwendiger, da Betrag und Phasenwinkel des Läuferstromes lastabhängig, aber nicht direkt über Ständergrößen meßbar, sondern nur errechenbar sind. Hingegen haben Synchronmaschinen Läufer mit vorgegebenen ausgeprägten Polen, die durch Permanent- oder Elektromagnete erzeugt werden. Die Elektromagnete können z.B. über Schleifringe mit Strom gespeist werden. Synchronmaschinen haben im allgemeinen höhere Erstellungskosten, sind aber steuerungstechnisch einfacher zu handhaben, da bei ihnen das Drehmoment im wesentlichen vom Läuferwinkel abhängt, der mit Hilfe eines Läuferlage-Gebers direkt meßbar ist. Sie erfordern daneben einen geringeren Aufwand in der Leistungselektronik, können kompakter ausgeführt sein, haben einen geringeren Rückkühlbedarf und erzielen einen besseren Wirkungsgrad. Reluktanzmaschinen

gehören im weiteren Sinn zu den Synchronmaschinen.

**[0016]** Insbesondere bei der Asynchronmaschine erfolgt die Steuerung der elektrischen Maschine vorzugsweise auf der Grundlage einer feldorientierten Regelung (sog. Vektorregelung). Hierbei wird, ausgehend von direkt meßbaren momentanen Größen, wie angelegte Spannung, Ständerstrom und ggf. Drehzahl, anhand eines rechnerischen dynamischen Maschinenmodells der Ständerstrom in eine drehmomentbildende Komponente, die mit dem Läuferfluß das Drehmoment erzeugt, und eine senkrecht dazu verlaufende, den Maschinenfluß erzeugende Komponente rechnerisch zerlegt und so das Drehmoment ermittelt. Diese Steuerungstechnik erlaubt es - obwohl die Stromverhältnisse im Läufer nicht direkt meßbar sind - ein gewünschtes Drehmoment mit hoher Genauigkeit einzustellen.

**[0017]** Bei dem erfindungsgemäßen Starter/Generator handelt es sich um ein dem Verbrennungsmotor zugeordnetes Hilfssystem. Wegen seines Hilfs-Charakters sollte er relativ zum Verbrennungsmotor wenig Raum beanspruchen, also möglichst kompakt sein. Dabei muß der Starter/Generator zum Starten relativ hohe Drehmomente aufbringen können und soll für die Generatorfunktion einen möglichst hohen Wirkungsgrad aufweisen. Die im folgenden genannten vorteilhaften Maßnahmen dienen u.a. einem kompakten Aufbau bei großer Drehmomentabgabe und hohem Wirkungsgrad.

**[0018]** Eine Maßnahme zur Erzielung hoher Kompaktheit liegt darin, daß die drehfeldererzeugende Wirkeinheit der elektrischen Maschine (das heißt i.a. der Ständer) wenigstens 8 magnetische Pole (bezogen auf 360°) hat (Anspruch 7). Besonders vorteilhaft sind feinere Polteilungen, entsprechend z.B. 10, 12, 14, 16 oder mehr Polen (bei kreisförmig geschlossener Maschine). Zu der Art und Weise, wie man Drehstromwicklungen mit einer bestimmten Anzahl von Polen realisiert, wird z.B. verwiesen auf G. und H. Häberle: "Elektrische Maschinen in Anlagen der Energietechnik", Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Grünten, 3. Auflage, 1994, Seiten 169 - 172.

**[0019]** Eine hohe Polzahl erlaubt es unter anderem, die Wickelköpfe des Ständers klein auszubilden, und zwar sowohl in Axialwie auch in Umfangsrichtung der Maschine, so daß die Maschine in Axialrichtung insgesamt kürzer ausgebildet sein kann. Vorzugsweise beträgt der axiale Überstand der Wickelköpfe auf jeder Seite des Ständers nur 5 - 25 mm, insbesondere 10 - 20 mm. Die axiale Breite des Ständerrückens beträgt vorzugsweise 25 - 100 mm. Bei einem Überstand von 2 mal 15 mm und einer Rückenbreite von 40 mm ergibt sich beispielsweise eine axiale Gesamtbreite des Ständers von 70 mm, wobei das Verhältnis von Rückenbreite zu Gesamtbreite 0,57 beträgt. Vorzugsweise liegt dieses Verhältnis zwischen 0,4 und 0,8, besonders vorzugsweise zwischen 0,55 und 0,8. Neben dem Vorteil einer kompakteren Ausbildung der Maschine sind wegen der geringeren Wickeldrahtlänge - kleinere Wickelköpfe benötigen weniger nicht-aktiven Wicklungsdraht

- die ohmschen Verluste geringer. Ferner ist das Streufeld (das den Blindleistungsanteil wesentlich bestimmt) kleiner, da es von der Wickelkopffläche abhängt.

[0020] Eine feine Polteilung erlaubt unter anderem, den Ständerücken für den magnetischen Rückfluß dünner (und damit auch leichter) auszubilden, mit der Folge, daß bei gleichem Außendurchmesser der Maschine der Läufer einen größeren Durchmesser haben kann. Größerer Läuferdurchmesser führt wegen des in Umfangsrichtung längeren Luftspaltes und des größeren wirksamen Hebelarms zu einem größeren Drehmoment. Die Dicke des Rückens in Radialrichtung, die sich zusammensetzt aus der Höhe von Zähnen und der Dicke des durchgehenden Rückenteils, beträgt vorteilhaft 10 - 50 mm, vorzugsweise 15 - 30 mm und ist besonders vorzugsweise kleiner oder gleich 25 mm. Der Außendurchmesser des Rückens beträgt vorzugsweise 230 - 450 mm und besonders vorzugsweise 250 mm - 350 mm. Das Verhältnis von zweifacher Rückendicke zum Rückenaußendurchmesser beträgt vorzugsweise 0,05 - 0,25 und besonders vorzugsweise 0,1 - 0,2. Beispielsweise hat eine Maschine mit einem Rückenaußendurchmesser von 300 mm eine Zahnhöhe von 15 mm und eine Dicke des durchlaufenden Rückenteils von 10 mm, insgesamt also eine Rückendicke von 25 mm. Das obige Verhältnis beträgt dann 50 mm zu 300 mm, also 0,167.

[0021] Insgesamt führen somit eine feine Polteilung, kleine Wickelköpfe und ein dünner Ständerücken zu einer kompakteren und leichteren Maschine.

[0022] Bei schnell laufenden Drehfeld-Maschinen sind hohe Polzahlen unüblich, da sie eine relativ hohe Polwechselfrequenz bedingen. Ein üblicher Wert für die Polwechselfrequenz beträgt beispielsweise 120 Hz. Die im Rahmen der Erfindung verwendete elektrische Maschine hat hingegen vorteilhaft eine hohe maximale Polwechselfrequenz, vorzugsweise zwischen 300 und 1600 Hz und mehr, besonders vorzugsweise zwischen 400 Hz und 1500 Hz (Anspruch 8).

[0023] Um den Einfluß von Wirbelströmen im Ständer - die mit steigender Polwechselfrequenz zunehmen - zu verringern, weist der Ständer vorteilhaft dünne Ständerbleche, vorzugsweise mit einer Dicke von 0,35 mm oder weniger, besonders vorzugsweise 0,25 mm oder weniger auf. Als weitere Maßnahme zur Verringerung der Verluste sind die Ständerbleche vorzugsweise aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten, insbesondere kleiner als 1 Watt/kg bei 50 Hz und 1 Tesla, gefertigt (Anspruch 9).

[0024] Als weitere Maßnahme, die zu einer kompakten Ausbildung beiträgt, weist die elektrische Maschine vorteilhaft eine innere Fluidkühlung auf (Anspruch 13). Bei dem Fluid kann es sich grundsätzlich um Gas (z.B. Luft) und vorteilhaft um Flüssigkeit (z.B. Öl) handeln. Eine Kühltechnik besteht darin, die Maschine im Inneren (d.h. in dem den Läufer aufnehmenden Raum) ganz unter Kühlfüssigkeit zu setzen. Ein Nachteil hiervon ist jedoch, daß oberhalb ca. 500 min<sup>-1</sup> Turbulenzverluste

auftreten, die oberhalb ca. 2000 min<sup>-1</sup> merkliche Ausmaße annehmen können. Um dem zu begegnen, erfolgt die Zufuhr der Kühlfüssigkeit vorteilhaft verlustleistungs- und/oder drehzahlabhängig, und zwar vorzugsweise mit einer Sprühflüssigkeitskühlung. In der Maschine befindet sich dann immer nur im wesentlichen soviel Kühlfüssigkeit, wie momentan zur Abfuhr der Verlustleistung benötigt wird. Bei sehr hohen Verlustleistungen und/oder niedrigen Drehzahlen kann die ganze Maschine unter Kühlfüssigkeit gesetzt werden. Die Sprühflüssigkeitskühlung stellt einen höchst wirksamen Wärmeübergang sowie eine besonders gute Verteilung der Flüssigkeit sicher.

[0025] Die elektrische Maschine hat vorzugsweise einen eigenen abgeschlossenen Kühlmittelkreislauf. Zur Abführung der Wärme nach außen (z.B. in die Atmosphäre) kann dieser einen autarken Rückkühler (z.B. einen Luftkühler) aufweisen. Möglich ist aber auch ein parasitärer Rückkühler, welcher die Abwärme in ein anderes Kühlsystem einbringt, bei dem es z.B. um den Verbrennungsmotor- oder Getriebeöl-Kühlkreislauf eines Kraftfahrzeugs handeln kann. Die Abwärme wird dann durch den Rückkühler des anderen Kühlsystems nach außen abgegeben. Der parasitäre Rückkühler kann sehr einfach und kompakt aufgebaut sein, z.B. in Form eines Kühlers, der in die Kühlfüssigkeit des anderen Kühlsystems eingetaucht ist und aufgrund des guten Wärmeübergangs nur eine relativ geringe Oberfläche benötigt. Alternativ kann die elektrische Maschine aber auch keinen eigenen abgeschlossenen Kühlkreislauf haben, sondern kann in einen anderen Kühlkreislauf integriert sein, etwa in einen Getriebeöl-Kühlkreislauf.

[0026] Um besonders hohe Drehmomente zu erzielen, arbeitet die elektrische Maschine vorzugsweise stark im Bereich magnetischer Sättigung. Ein Maß für die magnetische Sättigung ist der Strombelag (bei maximalem Drehmoment) im Ständer pro cm Luftspatllänge in Umfangsrichtung. Vorzugsweise beträgt dieses Maß wenigstens 400 - 1000 A/cm, besonders vorzugsweise wenigstens 500 A/cm (Anspruch 14). Ein anderes Maß für die magnetische Sättigung ist der sog. Abplattungsfaktor: Er gibt an, wie stark bei sinusförmigem Erregerstrom das Verhältnis von Spitzenwert zum arithmetischen Mittelwert des Betrags des Magnetfelds ist. Er beträgt bei rein sinusförmigem Verlauf 1,57, bei üblichen elektrischen Maschinen etwa 1,35, und bei dieser bevorzugten Ausgestaltung 1,05 - 1,15. Das Arbeiten stark im Sättigungsbereich hat den weiteren Vorteil, daß die Maschine einen relativ weiten Luftspalt zwischen den Wirkeinheiten (i.a. Läufer und Ständer) aufweisen kann. Die Weite des Luftspalts beträgt vorzugsweise 0,25 - 2,5 mm, vorzugsweise 0,5 - 1,5 mm, und besonders vorzugsweise 0,75 - 1,5 mm. Änderungen des Luftspaltes - wie sie bei Radialschwingungen der den Läufer tragenden Welle auftreten - wirken sich wegen des Betriebs im Sättigungsbereich kaum aus. Neben der Robustheit gegenüber Radialschwingungen erlaubt diese Maßnahme auch eine Herabsetzung der Genauigkeits-

anforderungen und damit eine beträchtliche Vereinfachung der Fertigung der elektrischen Maschine.

[0027] Quantitativ läßt sich die Kompaktheit durch die Größe "Drehmomentdichte" ausdrücken. Vorzugsweise weist die elektrische Maschine eine hohe Drehmomentdichte - bezogen auf das maximale Drehmoment - auf, die besonders vorzugsweise größer als  $0,01 \text{ Nm/cm}^3$  ist (Anspruch 15).

[0028] Eine derart kompakt aufgebaute elektrische Maschine hat im allgemeinen eine relativ geringe Induktivität. Um hier dennoch beispielsweise mit Hilfe einer getakteten Spannung einen möglichst glatten sinusförmigen Strom zum Erzeugen der elektrischen Drehfelder zu erzielen, arbeitet der Wechselrichter mit einer Taktfrequenz größer 10 kHz, insbesondere 20 kHz bis 100 kHz und höher. Eine hohe Taktfrequenz hat auch den Vorteil, eine kompakte Bauweise des Wechselrichters selbst zu erlauben: Denn beispielsweise bei einem Spannungszwischenkreis-Wechselrichter ist die Kapazität im Zwischenkreis, welche den elektronischen Schaltern des Wechselrichters die Zwischenkreisspannung bereitstellt, umgekehrt proportional zur Frequenz, so daß bei höherer Taktfrequenz hierfür eine kleinere Kapazität ausreicht. Die kleineren Zwischenkreiskondensatoren können mit kurzen Leitungswegen unmittelbar neben den elektronischen Schaltern angeordnet werden. Ferner kann eine nötige EMV-Filterung (EMV: Elektromagnetische Verträglichkeit) des Wechselrichters nach außen kompakter ausgeführt sein, da die Größe der Filter umgekehrt proportional zur Taktfrequenz ist.

[0029] Unter einem "Zwischenkreis" versteht man einen Kreis, welcher im wesentlichen Gleichspannung bzw. -strom liefern kann, aus der ein nachgeschalteter Wechselrichter-Teil (der sog. Maschinen-Wechselrichter) durch Pulsen oder Takten variable Wechselspannungen bzw. -ströme bilden kann. Diese Gleichspannung bzw. dieser Gleichstrom muß daher mit großer Flankensteilheit bereitgestellt werden. Eine Fahrzeugbatterie ist hierzu meist zu träge, man verwendet daher z.B. eine Kapazität als Energiespeicher im Zwischenkreis. Im allgemeinen umfaßt ein Zwischenkreis-Wechselrichter drei Baugruppen, und zwar eine Eingangsbaugruppe zur Versorgung mit bzw. Abfuhr von elektrischer Energie, eine Ausgangsbaugruppe in Form des Maschinen-Wechselrichters und den dazwischenliegenden Zwischenkreis.

[0030] Als weitere vorteilhafte Maßnahme zur Erzielung einer kompakten Bauweise des Wechselrichters sind elektronische Schalter des Wechselrichters fluidgekühlt, vorzugsweise siedebadgekühlt (Anspruch 16). Als Siedebad-Kühlmittel kann beispielsweise ein Fluorkohlenwasserstoff verwendet werden. Bei der Siedebadkühlung verdampft das flüssige Kühlmittel an Wärmequellen und entzieht ihnen dadurch seine relativ hohe Verdampfungswärme. Der Dampf steigt auf und kann z.B. in einem externen Kühler kondensieren und dabei seine Verdampfungswärme abgeben. Diese

Kühltechnik erlaubt kompakteste Anordnung der elektronischen Schalter des Wechselrichters ohne jegliche Kühlkörper. Daneben hat sie den Vorteil, daß zur Erreichung auch hoher Kühlleistung relativ geringe Temperaturdifferenzen ausreichen: Während bei einer Luftkühlung üblicherweise eine Temperaturdifferenz von  $40^\circ \text{C}$  zwischen Kühloberfläche und dem Gehäuse eines zu kühlenden Chips nötig ist, reicht hier bereits eine Differenz von  $2-10^\circ \text{C}$ , insbesondere ungefähr  $5^\circ \text{C}$  aus. Als Folge sind hohe Umgebungstemperaturen tolerabel, beispielsweise bei einer Chiptemperatur von  $65^\circ \text{C}$  eine Umgebungstemperatur bis  $60^\circ \text{C}$ . Die Abwesenheit von Kühlkörpern und die hohe erzielbare Kompaktheit ermöglicht ferner eine hohe Rüttelfestigkeit; daneben erlaubt das Siedebad die Schaffung einer sauerstofffreien Atmosphäre im Bereich der elektronischen Bauelemente des Wechselrichters, was sich insgesamt lebensdauerverlängernd auswirkt. Das den Kühlraum bildende Gehäuse kann - wenn es aus leitendem Material ausgeführt ist - auch als Abschirmung dienen. Elektrische Zwischenkreis-Speicherelemente zum Bereitstellen zu taktender Spannung bzw. zu taktenden Stroms (z.B. die o.g. Kapazität) können innerhalb des Kühlgehäuses angeordnet sein, wodurch sich kurze Leitungswege ergeben können. Ein ggf. gesonderter elektrischer Bremsenergie-Speicher kann innerhalb oder außerhalb des Kühlgehäuses angeordnet sein. Die im letzteren Fall möglicherweise relativ hohen Zuleitungsinduktivitäten stören nicht, da der Bremsenergiespeicher auf einer relativ "langsamen" Zeitskala arbeitet.

[0031] Eine weitere kühltechnisch vorteilhafte Maßnahme besteht darin, mehrere elektronische Schalter des Wechselrichters, insbesondere 2 bis 20 und mehr, parallel zu schalten (Anspruch 17). Die Parallelschaltung führt zu einer verteilten Anordnung der Wärmequellen und damit einer relativ geringen Verlustleistungsdichte.

[0032] Der Wechselrichter umfaßt vorteilhaft als Schalter Halbleiterschalter, vorzugsweise schnelle Halbleiterschalter, wie Feldeffekttransistoren - besonders vorzugsweise Metalloxidhalbleiter (MOS)-Feldeffekttransistoren, bipolare Transistoren und/oder bipolare Transistoren mit isoliertem Gateanschluß (IGBTs) (Anspruch 18). Unter "schnellen" Halbleiterschaltern werden insbesondere solche verstanden, welche die o. g. Taktfrequenzen erlauben. MOS-Feldeffekttransistoren haben bei hohen Taktfrequenzen die relativ geringsten Verluste. Sie weisen eine Ohmsche Charakteristik auf (während andere Halbleiterbauelemente im allgemeinen eine feste Verlustcharakteristik haben), so daß im Teillastbetrieb die Verluste relativ gering sind.

[0033] Der Wechselrichter ist ein Pulswechselrichter, d.h. er erzeugt die für die magnetischen Felder der elektrischen Maschine benötigten Spannungen und/oder Ströme vorzugsweise durch Pulse, insbesondere auf der Grundlage von Pulsweiten- oder Pulsamplitudenmodulation. Er kann dies vorteilhaft mit Hilfe elektroni-

schers Schalter tun, welche die Pulse aus einer vorgegebenen Gleich- oder Wechselspannung oder einem vorgegebenen Gleich- oder Wechselstrom heraus-schneiden. Beispielsweise bei einem Zwischenkreis-Wechselrichter mit konstanter Zwischenkreisspannung lassen sich durch sinusbewertete Pulsweitenmodulation bei hohen Taktfrequenzen aufgrund der Maschinen-induktivität nahezu sinusförmige Ströme beliebig ein-stellbarer Frequenz, Amplitude und/oder Phase erzeugen. Bei der Pulsamplitudenmodulation geht man bei-spielsweise aus von einem Wechselrichter mit variabler Zwischenkreisspannung und erzeugt so Pulse ver-schiedener Amplituden.

**[0034]** Um die für den Startvorgang benötigte, hohe elektrische Leistung ohne übermäßige Belastung der Fahrzeugbatterie bereitzustellen, ist ein Energiespei-cher vorgesehen, der vor dem Startvorgang mit Energie aufgeladen wird und dem dann die benötigte Energie kurzfristig entnommen wird. Hierfür ist der Wechselrich-ter als Zwischenkreis-Wechselrichter ausgebildet, der im Zwischenkreis wenigstens einen Energiespeicher für die Startenergie aufweist. Bei dem Speicher kann es sich insbesondere um einen elektrischen, magneti-schen und/oder elektrochemischen Speicher, wie eine Kapazität, eine Induktivität und/oder eine (schnelle) Bat-terie handeln. Der kann neben der Speicherung der Startenergie auch anderen Aufgaben dienen. Beispiels-weise kann er die zum Pulsbetrieb des Wechselrichters nötige Energie speichern. (Im letzteren Fall könnte er mit dem üblichen Zwischenkreis-Speicher zusammen-fallen). Im übrigen kann die Ausbildung des Stromrich-ters als Zwischenkreis-Stromrichter in jedem Fall - z.B. auch ohne Speicher für die Startenergie und ggf. die Bremsenergie - vorteilhaft sein.

**[0035]** Bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen, anderen Fahrzeugen und auch stationären Antriebsaggregaten gibt es häufig Hilfsmaschinen, welche - da sie relativ ho-he Leistung aufnehmen - mechanisch vom Antriebsag-gregat (d.h. vom Verbrennungsmotor) angetrieben wer-den, z.B. über Riementriebe. Hierbei kann es sich z.B. um Klimamaschinen, Servoantriebe (z.B. für Brems-und Lenkunterstützung), Pumpen oder ähnliches han-deln. Eine derartige mechanische Antriebskopplung ist i.a. nicht optimal, da die Hilfsmaschine dem Antriebsag-gregat durch die von ihm vorgegebenen Drehzahl-Zu-stände folgen muß. Sie läuft damit einerseits nicht kon-stant bei ihrer optimalen Betriebsgröße (z.B. der Dreh-zahl bei einer rotatorischen Hilfsmaschine) und muß an-dererseits auch dann laufen, wenn dies mangels abge-fragter Hilfsleistung gar nicht nötig wäre. Diese Nach-teile können mit dem erfindungsgemäßen Starter/Ge-nerator, der als Hochleistungsmaschine ausgebildet sein kann, überwunden werden. Die elektrische Maschi-ne liefert Strom auf relativ hohem Spannungsniveau, vorzugsweise im oberen Bereich der Niederspannung, wo gerade noch nicht für besonderen Berührungsschutz gesorgt werden muß (z.B. etwa 60 V Gleichspan-nung). Geht man darüber hinaus, wird vorzugsweise ein

Bereich von 250 - 450 Volt gewählt. Man betreibt vor-teilhaft die Hilfsmaschinen elektrisch aus dem Zwi-schenkreis auf diesen hohen Spannungsniveaus (An-spruch 19). Ein derart hohes Spannungsniveau liegt bei einem Zwischenkreis-Wechselrichter im Zwischenkreis bereits vor, und braucht so nicht besonders für diesen Zusatzzweck erzeugt zu werden. Ein elektrischer statt eines mechanischen Hilfsmaschinen-Antriebs ist des-halb möglich, da aus dem hohen Spannungsniveau re-lativ kleine Ströme resultieren (im Gegensatz etwa zu dem 12-Volt-Spannungsniveau eines herkömmlichen Kraftfahrzeugnetzes). Elektrisch angetrieben kann man die Hilfsmaschinen im Bedarfsfall bei ihrer optimalen Drehzahl laufen lassen und ansonsten abschalten. Man erreicht so eine deutliche Erhöhung des Gesamtwir-kungsgrades. Vorteilhaft werden sämtliche Geräte und Hilfsantriebe eines Kraftfahrzeugs elektrisch betrieben. Der Verbrennungsmotor dient dann nur als Hauptan-triebsmotor für das Fahrzeug sowie als Antriebsmotors des Generators. Für Niederleistungsverbraucher kann ein herkömmliches Niederspannungsbordnetz (z.B. 12 V oder 24 V) vorgesehen sein. Eine Batterie kann im Bereich des Niederspannungsbordnetzes angeordnet sein.

**[0036]** Vorteilhaft ist auch ein (weiterer) Wechselrich-ter zur Lieferung von 220 V Wechselstrom und/oder 380 V Drehstrom mit üblicher Netzfrequenz (z.B. 50 Hz) vor-gesehen. Die Versorgung dieses weiteren Wechselrich-ters kann ebenfalls aus dem (Gleichspannungs-)Zwi-schenkreis erfolgen. Ein so ausgestattetes Fahrzeug er-laubt die Versorgung normaler elektrischer Netzgeräte und stellt damit einen fahrbaren Netzstrom-Generator dar, der z.B. vorteilhaft bei Außenarbeiten einsetzbar ist.

**[0037]** Die Umwandlung elektrischer Energie aus dem Zwischenkreis in Wechselstrom kann vorteilhaft auch der Versorgung eines Wechselspannungs-Bord-netzes des Fahrzeugs dienen. Ein solches Netz hat den Vorteil, daß aus der Bordnetzspannung durch Transfor-matoren bei den einzelnen Verbrauchern beliebige, an den jeweiligen Verbraucher angepaßte Spannungen er-zeugt werden können. Besonders vorteilhaft ist die Wechselspannung hochfrequent (d.h. die Frequenz ist größer als 1 kHz), da dann die Transformatoren beson-ders klein und leicht ausgebildet sein können.

**[0038]** Die Möglichkeit, den Starter/Generator als Hochleistungsmaschine auf hohem Spannungsniveau auszubilden, erlaubt dessen Einsatz für Heizzwecke im Fahrzeug (Anspruch 20). Es kann sich hierbei z.B. um eine elektrische Beheizung des Verbrennungsmotors, z.B. durch Beheizung des Kühlkreislaufs (insbesondere für den Winterbetrieb von direkt einspritzenden Turbo-Dieselmotoren), eines Fahrgastraums, eines Abgaska-talysators des Verbrennungsmotors, eines Kraftstofffil-ters, einer Scheibenwaschanlage, von Außenspiegeln und/oder von Fensterscheiben des Fahrzeugs handeln. Derartige Beheizungen sind bei herkömmlichen Kraft-fahrzeugen entweder nicht, nur unzureichend oder nur

durch Abwärme des Verbrennungsmotors möglich. Die elektrische Beheizung hat - abgesehen von Komfort-  
 erhöhung etwa bei einer Unterstützung einer Fahrgastin-  
 nenraum-Heizung - vorteilhafte Auswirkungen für die  
 Umweltfreundlichkeit von Kraftfahrzeugen: Elektrische  
 Motor- und Katalysatorheizungen bringen den Verbren-  
 nungsmotor bzw. den Katalysator schnell auf Betriebs-  
 temperatur und erlauben zudem eine genaue und  
 schnelle Regelung der Betriebstemperaturen. Dies sind  
 wichtige Maßnahmen zum Erfüllen strenger Emissions-  
 bestimmungen. Die Steuerung und Regelung der ver-  
 schiedenen Heizungen, insbesondere der Motor- und  
 Katalysatorheizung, kann von der Steuerung des Star-  
 ter/Generators zur Ansteuerung des Wechselrichters  
 mit übernommen werden.

[0039] Aufgrund seiner Geräusch- und Verschleißar-  
 mut sowie der fehlenden Totzeit ist der Starter/Genera-  
 tor für sehr häufiges Starten geeignet. Er wird daher vor-  
 teilhaft mit einer Start-Stop-Steuerung des Verbren-  
 nungsmotors kombiniert, bei welcher der Verbren-  
 nungsmotor nur im Bedarfsfall läuft und ansonsten ab-  
 gestellt wird (Anspruch 21). Denn im Stadtverkehr lau-  
 fen Verbrennungsmotoren von Kraftfahrzeugen auf-  
 grund häufiger Halte an Ampeln und Kreuzungen einen  
 beträchtlichen Teil ihrer Betriebszeit im Leerlauf. Dies  
 stellt eine erhebliche Ressourcenverschwendung und  
 Umweltbelastung dar, da es einen an sich unnützen  
 Mehrverbrauch an Kraftstoff mit einhergehender Emis-  
 sion giftiger, klimaaktiver oder sonstwie schädlicher Ab-  
 gase mit sich bringt.

[0040] Die automatische Start-Stop-Steuerung ver-  
 anlaßt vorzugsweise ein automatisches Stoppen des  
 Verbrennungsmotors, wenn eine Stopbedingung (oder  
 eine von mehreren) erfüllt ist. Zur Definition einer Stop-  
 bedingung können verschiedene Bedingungen allein  
 oder in (Unter-)Kombination dienen, z.B.: Nullast,  
 Schiebebetrieb, Leerlauf, Stillstand des Kraftfahrzeugs  
 (d.h. Fahrgeschwindigkeit unterhalb eines bestimmten  
 kleinen Wertes, z.B. 4 km/h), Verbrennungsmotor ist  
 ausgekuppelt, kein Gang ist eingelegt, die Betriebsoder  
 Feststellbremse ist betätigt, Betätigung eines Stop-  
 schalters.

[0041] Entsprechend veranlaßt die Start-Stop-Steu-  
 erung vorzugsweise bei Vorliegen einer Startbedingung  
 (oder einer von mehreren) ein automatisches Starten  
 des Verbrennungsmotors mit Hilfe der elektrischen Ma-  
 schine. Auch zur Definition der Startbedingung können  
 verschiedene Bedingungen allein oder in (Unter-)Kombi-  
 nation dienen, z.B.: Betätigung des Fahrpedals, Lösen  
 der Betriebs- bzw. Feststellbremse, Betätigen der Kupp-  
 lung, Berühren oder Bewegen eines Gangschalthebels,  
 Einlegen eines Ganges, Betätigen eines Startschalters.

[0042] Herkömmliche Starter bringen wegen ihrer ho-  
 hen Übersetzung den Verbrennungsmotor nur auf eine  
 relativ niedrige Start-Drehzahl (typischerweise 80-250  
 U/min), die weit unterhalb dessen Leerlauf-Drehzahl (ty-  
 pischerweise 600-800 U/min) liegt. Die Drehzahldiffe-  
 renz zwischen Start-Drehzahl und der Leerlauf-Dreh-

zahl muß der Verbrennungsmotor dann aus eigener  
 Kraft überwinden. Er benötigt hierfür jedoch - da er sich  
 bei diesen Drehzahlen weit unterhalb seiner Leerlauf-  
 Drehzahl in einem sehr ungünstigen Betriebsbereich  
 befindet - ein relativ großes Quantum Kraftstoff, wel-  
 ches zudem nur unvollständig verbrennt. Jeder Motor-  
 start ist daher mit zusätzlichem Kraftstoffverbrauch und  
 besonders umweltschädlichen Emissionen verbunden.  
 Vorzugsweise ist daher das Antriebssystem so ausge-  
 bildet, daß die elektrische Maschine wenigstens im we-  
 sentlichen bis zum Erreichen der Leerlauf-Drehzahl des  
 Verbrennungsmotors (welche bei Betriebstemperatur  
 üblicherweise zwischen 600 und 800 U/min liegt) antrei-  
 bend wirkt. Diese Maßnahme läßt den Verbrennungs-  
 motor praktisch erst bei Erreichen seiner Leerlauf-dreh-  
 zahl anlaufen und läßt so das betrieblich ungünstige  
 Hochlaufen aus eigener Kraft entfallen. Sie vermindert  
 damit den Kraftstoffverbrauch und die besonders  
 schädlichen Emissionen beim Starten und macht zu-  
 dem den Startvorgang schneller. Die Maßnahme ist also  
 bei Fahrzeugen mit und ohne Start-Stop-Automatik öko-  
 logisch besonders vorteilhaft.

[0043] Vorteilhaft kann die elektrische Maschine ne-  
 ben ihren Funktionen als Starter und als Generator an-  
 dere Funktionen ausführen:

[0044] Eine erste vorteilhafte Zusatzfunktion besteht  
 darin, daß die elektrische Maschine ein Beschleunigen  
 und/oder Abbremsen der Welle herbeiführt oder unter-  
 stützt, beispielsweise um das Kraftfahrzeug zu be-  
 schleunigen oder abzubremesen (Anspruch 22). Zum  
 Abbremsen kann die elektrische Maschine als ver-  
 schleißfreie, zwecks Energierückgewinnung vorteilhaft  
 generatorische (Retarder-)Bremse dienen. Im Zusam-  
 menhang mit einer Antriebs-Schlupf-(ASR-)Regelung  
 kann die elektrische Maschine durch Bremsen schnell  
 das Gesamt-Antriebsmoment und damit den Schlupf ei-  
 nes oder mehrerer Antriebsräder verringern. Bei einem  
 antreibenden Zusatzdrehmoment zwecks Beschleuni-  
 gungsunterstützung kann der Verbrennungsmotor bei  
 ungeänderten erreichbaren Fahrzeugbeschleuni-  
 gungswerten schwächer dimensioniert werden, so daß  
 er im Mittel bei höherem Mitteldruck arbeitet und daher  
 weniger Kraftstoff verbraucht. Somit trägt auch diese  
 Maßnahme zur Verringerung schädlicher Emissionen  
 bei. Die Beschleunigungsunterstützung kann vorteilhaft  
 so gesteuert sein, daß sie die Momentenkennlinie des  
 Verbrennungsmotors glättet, beispielsweise indem sie  
 in einem Drehzahlbereich mit relativ niedrigem Drehmo-  
 ment (z.B. im sog. "Turboloch" bei einem mit Turbolader  
 aufgeladenen Motor) ein entsprechend größeres Zu-  
 satzdrehmoment aufbringt als in anderen Drehzahlbe-  
 reichen.

[0045] Als zweite vorteilhafte Zusatzfunktion wirkt die  
 elektrische Maschine als elektromagnetische Kupplung  
 im Antriebsstrang und/oder als aktive Getriebesynchro-  
 nisierereinrichtung (Anspruch 23). Sie kann anstelle oder  
 zusätzlich zu einer herkömmlichen Reibkupplung oder  
 einem herkömmlichen hydrodynamischen Wandler an-

geordnet sein. Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die elektrische Maschine insgesamt drehbar gelagert, hat also neben dem drehbaren Läufer auch einen drehbaren Ständer. Eines dieser Wirkelemente (Läufer oder Ständer) ist mit der z.B. vom Verbrennungsmotor kommenden Antriebswelle verbunden, das andere mit der z.B. zum Getriebe führenden Abtriebswelle. Durch Einstellen einer zeitlich abnehmenden Relativdrehzahl (d. h. eines abnehmenden Schlupfes) zwischen Läufer und Ständer wird der transiente Vorgang wie beim Einkuppeln einer Reibungskupplung erzielt. Verschwindender Kupplungs-Schlupf steht am Ende des Einkuppelungsvorgangs. Zur Vermeidung elektrischer Verluste kann dann vorteilhaft eine mechanische Überbrückungskupplung eingekuppelt werden. Zur Erzielung der Generatorfunktion stellt man - ohne Überbrückungskupplung - einen geringfügig bremsenden Kupplungs-Schlupf ein. Zum Starten legt man die Abtriebswelle, z. B. mit Hilfe einer Bremsvorrichtung fest, gegen die beim Starten die Drehmomentabstützung der elektrischen Maschine erfolgt. Im Rahmen einer ASR-Regelung kann der Antriebschlupf statt durch Bremsen auch durch Vergrößern des Kupplungsschlupfes (nach Lösen einer Überbrückungskupplung) verringert werden. Als aktive Getriebesynchronisierereinrichtung wirkt die elektrische Maschine in Abstützung auf die Antriebswelle bremsend oder beschleunigend auf die zum Getriebe führende Abtriebswelle, je nachdem wie dies im Verlauf eines Gangschaltvorgangs zur Erzielung eines Gleichlaufs von Getrieberädern benötigt wird.

[0046] Eine dritte Zusatzfunktion besteht darin, daß die elektrische Maschine Drehungleichförmigkeiten aktiv verringert, indem sie ein schnell alternierendes Drehmoment gegenphasig zu den Drehungleichförmigkeiten erzeugt (Anspruch 24). Dieses alternierende Drehmoment kann dem konstanten oder langsam variierenden Drehmoment der Generatorfunktion oder ggf. der Brems- oder Boosterfunktion additiv überlagert sein.

[0047] Bei den Drehungleichförmigkeiten kann es sich insbesondere um solche handeln, die bei dem Verbrennungsmotor (der insbesondere ein Hubkolbenmotor mit innerer Verbrennung ist) durch die auf die Kurbelwelle wirkenden Gas- und/oder Massenkräfte der einzelnen Hubkolben auftreten. Beispielsweise zeigt ein Vierzylinder-Viertaktmotor relativ große Drehungleichförmigkeiten in der zweiten Ordnung (d.h. dem zweifachen der Drehfrequenz des Motors). Daneben gibt es Drehungleichförmigkeiten bei höheren Ordnungen sowie stochastisch auftretende Ungleichförmigkeiten.

[0048] Bei Ausgestaltungen, bei denen die elektrische Maschine außerdem als elektromagnetische Kupplung wirkt, kann an die Stelle des schnell alternierend bremsenden und antreibenden Drehmoments ein schnell variierend größerer und kleinerer Kupplungsschlupf treten.

[0049] Unter "schnell" wird hier eine Variation im Frequenzbereich der zu verringernden Drehungleichförmigkeiten verstanden, also z.B. bei der Drehungleich-

förmigkeit der 2. Ordnung und bei einer Drehzahl von  $3000 \text{ min}^{-1}$  eine Variation mit einer Frequenz von 100 Hz. Demgegenüber variieren die der Generatorfunktion oder anderen der o.g. Funktionen zugehörigen Drehmomente im allgemeinen langsam oder sie sind konstant.

[0050] Sie werden daher im folgenden auch "Gleich-Drehmomente" genannt.

[0051] Falls die Amplitude des Wechseldrehmoments größer als das konstante oder langsam variierende Drehmoment ist, zeigt das Gesamt-Drehmoment der elektrischen Maschine - wenn auch gegenüber der Nulllinie verschoben - abwechselnd positive und negative Werte. Andernfalls ist das Gesamt-Drehmoment nur positiv oder negativ, wobei dessen Betrag einen schnell variierenden Anteil enthält.

[0052] Die bei diesen Zusatzfunktionen gewonnene Energie (also z.B. bei Fahrzeugbremsung, Anfahren mit "schleifender" Kupplung, Abbremsung von Getrieberädern, Bremsung bei positiver Drehungleichförmigkeit) wird vorteilhaft in dem oben genannten (oder einem anderen) Energiespeicher zwischengespeichert und zur Erzeugung von antreibenden Momenten (z.B. zur Fahrzeugbeschleunigung, Beschleunigung von Getrieberädern, Antreiben bei einer negativen Drehungleichförmigkeit) wiederverwendet und/oder in ein Fahrzeugbordnetz und/oder eine Batterie eingespeist. Bei sehr großen anfallenden Energiemengen (wie sie z.B. beim Anfahren mit "schleifender" elektromagnetischer Kupplung anfallen können) kann der Energiespeicher vorteilhaft als Schwungradspeicher ausgebildet sein, dessen Schwungrad seinerseits durch eine elektrische Maschine angetrieben und gebremst wird. Alternativ können diese großen Energiemengen verheizt werden, z.B. durch eine elektrische Heizwicklung, die parasitär im Kühlkreislauf des Verbrennungsmotors angeordnet ist (ähnlich einem Tauchsieder).

[0053] Um bei einer Fahrzeugbremsung mit Hilfe der elektrischen Maschine einen möglichst hohen Wirkungsgrad der Bremsenergie-Rückgewinnung zu erzielen, entkuppelt man vorteilhaft beim Bremsen die elektrische Maschine vom Verbrennungsmotor, z.B. mit einer dazwischengeschalteten Kupplung, etwa einer Reibkupplung oder Klauenkupplung.

[0054] Zur optimalen Ausnutzung des z.B. in einem Kraftfahrzeug zur Verfügung stehenden Bauraumes ist es vorteilhaft, daß in die elektrische Maschine, und zwar insbesondere in deren Läufer, eine Kupplung, vorzugsweise eine als Fahrkupplung dienende Reibkupplung integriert ist. Beispielsweise bei einer Asynchron- und Synchronmaschine mit innenliegendem Läufer kann der Läufer in seinem inneren Bereich funktionslos sein und so zur Aufnahme der Kupplung hohl ausgebildet sein. Durch diese Maßnahme ist es möglich, daß die elektrische Maschine samt im Inneren des Läufers integrierter Kupplung in Axialrichtung nur so viel wie oder kaum mehr Raum in Anspruch nimmt, als bei einem herkömmlichen Kraftfahrzeug die Kupplung alleine. Aufgrund des reduzierten verfügbaren Durchmessers und



zur Minimierung des Massenträgheitsmomentes ist auch eine Ausführung als Mehrscheiben- und/oder Lamellenkupplung möglich. Ist die integrierte Kupplung als Naßkupplung ausgebildet, kann das Kupplungsfluid auch für die Kühlung der elektrischen Maschine sorgen. Die Betätigung der Kupplung kann mechanisch, elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch, hydraulisch, pneumatisch oder mit Mischformen hiervon erfolgen.

[0055] Im übrigen werden in der gesamten vorliegenden Beschreibung Zahlenangaben "x" im Sinn von "wenigstens x", und nur vorzugsweise im Sinn von "genau x" verstanden.

[0056] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und der angefügten schematischen Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine unmaßstäblich-schematische Darstellung eines Antriebssystems mit einer Ausführungsform des Starter/Generators;

Fig. 2 eine schematische beispielhafte Darstellung der Funktionsweise des Starter/Generators mit Zusatzfunktion "aktive Schwingungsdämpfung";

Fig. 3 eine schematische Schnittdarstellung einer elektrischen Maschine mit Schnittebene senkrecht zur Axialrichtung;

Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung einer elektrischen Maschine mit integrierter Reibkupplung mit Schnittebene in Axialrichtung;

Fig. 5 einen schematischen Schaltplan eines bei dem Starter/Generator verwendeten Wechselrichters;

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer elektrischen Maschine mit drehbaren elektromagnetischen Wirk einheiten.

[0057] In den Figuren tragen im wesentlichen funktionsgleiche Teile gleiche Bezugszeichen.

[0058] Das in Fig. 1 dargestellte Antriebssystem eines Kraftfahrzeugs, z.B. eines Personenkraftwagens, weist als Antriebsaggregat einen Verbrennungsmotor 1 auf, bei dem es sich beispielsweise um einen Vierzylinder-Viertakt-Otto- oder Dieselmotor handelt. Das vom Verbrennungsmotor 1 erzeugte Drehmoment kann über einen Antriebsstrang 2 auf Antriebsräder 3 übertragen werden. In Abtriebsrichtung ist im Antriebsstrang 2 nach dem Verbrennungsmotor 1 zunächst eine als Starter/Generator dienende elektrische Maschine 4 angeordnet. Auf diese folgen eine Fahrkupplung 5, ein Getriebe 6 und ein Achsantrieb 7, welcher das Drehmoment auf die Antriebsräder 3 überträgt. Bei der Kupplung 5 und dem Getriebe 6 kann es sich um eine Reibkupplung und ein Schaltgetriebe handeln; alternativ sind z.B. eine au-

tomatische Kupplung oder Wandlerkupplung, jeweils mit z.B. handbetätigtem Schaltgetriebe oder automatischem Getriebe möglich. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist im Antriebsstrang 2 zwischen Verbrennungsmotor 1 und elektrischer Maschine 4 eine weitere (gesteuert betätigte) Kupplung angeordnet, um beim Bremsen mit der elektrischen Maschine 4 einen Mitlauf des Verbrennungsmotors 1 zu vermeiden.

[0059] Die elektrische Maschine 4 - hier eine Drehstrom-Wandlerfeld-Maschine in Asynchron- oder Synchron-Bauart - umfaßt einen Ständer 8 und einen Läufer 9. Ersterer stützt sich drehfest gegen den Verbrennungsmotor 1, ein (nicht gezeigtes) Fahrzeugchassis oder ein (nicht gezeigtes) Kupplungsgehäuse ab, wohingegen letzterer direkt auf einer Triebwelle (Kurbelwelle) 10 des Verbrennungsmotors 1 oder einer Verlängerung hiervon sitzt und mit dieser drehfest gekoppelt ist. Die Triebwelle 10 und der Läufer 9 rotieren also gemeinsam, ohne Zwischenschaltung eines Getriebes.

[0060] Die elektrische Maschine 4 erfüllt mehrere Funktionen: Sie fungiert einerseits als Generator zur Ladung einer Fahrzeugbatterie 11 und zur Versorgung elektrischer Verbraucher und ersetzt damit eine herkömmlicherweise im Kraftfahrzeug vorhandene Lichtmaschine. Sie fungiert andererseits als Starter, der den Verbrennungsmotor 1 im Zusammenlauf aus dem Stand startet und kann somit auch einen herkömmlicherweise beim Kraftfahrzeug gesondert vorgesehenen Starter ersetzen. Die elektrische Maschine 4 hat weitere fakultative Funktionen: Eine Generatorfunktion mit wesentlich größerem Drehmoment dient zum Abbremsen des Fahrzeugs oder des Verbrennungsmotors 1. Außerdem kann die elektrische Maschine 4 als Zusatzantrieb ("Booster") fungieren, z.B. um den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen des Fahrzeugs zu unterstützen. Auch kann sie als aktiver Drehungleichförmigkeits-Verzögerer dienen (Fig. 2). Schließlich fungiert sie aufgrund des Massenträgheitsmomentes des Läufers 9 als Schwungrad und kann so das bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen i.a. vorhandene, auf der Kurbelwelle sitzende Schwungrad ersetzen.

[0061] Die elektrische Maschine 4 wird durch eine Sprühflüssigkeitskühlung 12 innengekühlt. Nach Durchlaufen eines Rückkühlers 13 und einer Pumpe 14 wird die Kühlflüssigkeit - hier ein geeignetes Öl - an den Läufer 9, und zwar in der Nähe von dessen Rotationsachse, gesprüht. Sie wandert aufgrund der Läuferrotation fliehkräftbedingt nach außen und kühlt dabei Läufer 9 und Ständer 8, und verläßt dann ein Gehäuse 15 der elektrischen Maschine 4, um in einem geschlossenen Kreislauf wieder in den Kühler 13 einzutreten. Der Kühlmitteleffluß erfolgt verlustleistungs- und drehzahlabhängig durch entsprechende Steuerung der Pumpe 14, derart, daß sich jeweils im wesentlichen nur eine gerade benötigte Mindestmenge des Kühlfluids im Inneren des Gehäuses 15 befindet. Ein (nicht gezeigtes) Ausgleichsgefäß erlaubt diese Variation der Kühlfluidmenge im Gehäuse 15. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungs-

formen ist der Kühler als parasitärer Kühler, der z.B. in den Kühlkreislauf des Verbrennungsmotors eingesetzt ist. Bei weiteren (nicht gezeigten) Ausführungsformen verfügt die elektrische Maschine nicht über ein eigenes abgeschlossenes Kühlsystem. Sie (oder nur der Läufer) ist z.B. in ein Kupplungs- und/oder Getriebegehäuse integriert und wird durch ein darin befindliches Schmier- und/oder Kühlfluid (z.B. Kupplungs- oder Getriebeöl) mit gekühlt.

[0062] Bei einfacheren (nicht gezeigten) Ausführungsformen, bei denen die elektrische Maschine 4 keine Zusatzfunktionen mit hoher Dauerleistung ausführen muß, kann die Kühlung einfacher ausgeführt sein: Hier genügt beispielsweise eine Innenkühlung mit Gas oder nur eine Außenkühlung des Ständers mit Flüssigkeit oder Gas.

[0063] Die elektrische Maschine 4 ist außerdem mit einem Drehtransformator 16 (sog. Resolver) ausgerüstet, der vorzugsweise mehr als 8 Pole, hier z.B. 12 Pole aufweist. Er besteht aus zwei benachbart angeordneten Leiterplatten, von denen eine feststeht und die andere sich mit der Triebwelle 10 dreht. Die Leiterplatten tragen auf ihren zugewandten Oberflächen durch Leiterbahnen gebildete Windungen, derart daß sich ein drehwinkelabhängiges Transformator-Übersetzungsverhältnis ergibt. Der Drehtransformator 16 arbeitet nach dem Transponder-Prinzip: Die feststehenden Windungen (feststehende Platine) werden aktiv mit Strom/Spannung beaufschlagt und strahlen elektromagnetische Energie zu den drehbaren Windungen (drehbare Platine) hin ab. Letztere strahlen einen Teil dieser Energie wieder zurück, wobei dieser Teil aufgrund des drehwinkelabhängigen Übertragungsverhältnisses vom Drehwinkel abhängt. Der rückgestrahlte Teil erzeugt in den feststehenden Windungen ein drehwinkelabhängiges Signal. Eine Auswertung dieses Signals liefert den momentanen Drehwinkel der Triebwelle 10 mit einer Genauigkeit von wenigstens 0,5 Grad. Bei einfacheren Ausführungsformen wird ein Inkrementalgeber verwendet oder völlig auf einen entsprechenden Geber verzichtet.

[0064] Ein Wechselrichter 17 liefert den Wicklungen des Ständers 8 der elektrischen Maschine 4 bei einer sehr hohen Taktfrequenz (z.B. 10-100 kHz) sinusbewertete pulsweitenmodulierte Spannungsimpulse, die unter der Wirkung der Maschineninduktivität im wesentlichen sinusförmige Dreiphasen-Ströme ergeben, deren Amplitude, Frequenz und Phase frei vorwählbar ist.

[0065] Der Wechselrichter 17 ist ein Spannungszwischenkreis-Wechselrichter und umfaßt drei Baugruppen: einen Gleichspannungsumsetzer 18 (Eingangsbaugruppe), welcher Gleichspannung von einem niedrigen Niveau (hier 12 V) auf ein höheres Zwischenkreisliveau (hier 350 V) und in umgekehrter Richtung umsetzt, einen elektrischen Zwischenkreisspeicher 19, hier ein Kondensator bzw. eine Anordnung parallel geschalteter Kondensatoren, und einen Maschinenwechselrichter 20 (Ausgangsbaugruppe), welcher aus der Zwischenkreis-Gleichspannung die (getaktete) Drei-

phasen-Wechselspannung variabler Amplitude, Frequenz und Phase erzeugen kann oder - bei generatorischem Betrieb der elektrischen Maschine 4 - derartige beliebige Wechselspannungen in die Zwischenkreis-Gleichspannung umsetzen kann. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen liegt das Zwischenkreisliveau am oberen Rand des ohne besonderen Berührungsschutz zulässigen Niederspannungsbereichs, hier 60 V.

[0066] Die drei Baugruppen 18, 19, 20 des Wechselrichters 17 sind in einem abschirmenden Gehäuse 21 hermetisch eingeschlossen, welches mit einem geeigneten Siedekühlmittel gefüllt ist. Bei diesem handelt es sich z.B. um einen Fluorkohlenwasserstoff, der bei einem geeigneten Druck (etwa zwischen 50 mbar und 3 bar) einen geeigneten Siedepunkt, z.B. bei 60° C, hat. Verdampftes Siedekühlmittel kann in einem Kondensationskühler 22 kondensieren und in flüssiger Form in einem hermetisch geschlossenen Kreislauf in das Gehäuse 21 zurückkehren.

[0067] Der Gleichspannungsumsetzer 18 ist niederspannungsseitig mit der Fahrzeugbatterie 11 und verschiedenen Niederspannungsverbrauchern 23, wie beispielsweise Beleuchtung und elektronische Geräte, verbunden. Der Wechselrichter 17 kann einerseits Strom auf niedrigem Spannungsniveau zum Laden der Fahrzeugbatterie 11 und Versorgen der Niederspannungsverbraucher 23 liefern, andererseits kann er der Fahrzeugbatterie 11 Strom auf niedrigem Spannungsniveau zum Starten des Verbrennungsmotors 1 entnehmen. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen befindet sich die Fahrzeugbatterie auf Zwischenkreisliveau und ist direkt mit dem Zwischenkreis gekoppelt.

[0068] Der Zwischenkreisspeicher 19 ist verbunden mit einem externen Zusatzspeicher 24, bei dem es sich um einen elektrischen Speicher, hier eine Zusatzkapazität 25 handelt. Der Zusatzspeicher 24 entlastet die Fahrzeugbatterie 11 beim Startvorgang des Verbrennungsmotors 1, indem dieser vor dem Starten Energie nur relativ langsam entnommen und im Zusatzspeicher 24 gespeichert wird. Hier steht sie dann für eine schnelle Entnahme beim Startvorgang zur Verfügung. Daneben kann er auch der Speicherung derjenigen Energie dienen, die bei durch die elektrische Maschine 4 vermittelten Bremsvorgängen anfällt. Schließlich hat er die Aufgabe, die beim Drehungleichförmigkeits-Verringern in einer Bremsphase gewonnene Energie zwischenspeichern und für die anschließende Antriebsphase wieder abzugeben. Für große zu speichernde Energien kann der Zusatzspeicher 24 ergänzend oder alternativ einen Schwungradspeicher 26 umfassen.

[0069] Hingegen hat der (innere) Zwischenkreisspeicher 19 im wesentlichen die Aufgabe, der Maschinenwechselrichtergruppe 20 Spannung mit der für das Takten notwendigen hohen Flankensteilheit - also schnell - zu liefern. Er braucht dazu keine sehr hohe Kapazität (er hat z.B. 2 µF), vorteilhaft für die Schnelligkeit sind vielmehr geringe Zuleitungsinduktivitäten, was durch

die Anordnung im Inneren des Wechselrichters 17 sichergestellt ist (und zwar vorzugsweise auf derselben Platine, auf der auch die elektronischen Schalter des Maschinen-Wechselrichters 20 angeordnet sind). Der Zusatzspeicher 24 kann hingegen relativ langsam arbeiten, so daß hier die Zuleitungskapazitäten aufgrund der externen Anordnung nicht stören. Die Zusatzkapazität 25 kann insbesondere 50 bis 10000 mal größer sein (sie ist hier z.B. 4,7 mF für die Speicherung der Drehungleichförmigkeits-Energie) als die des Zwischenkreisspeichers 19.

[0070] Noch größere Speicherkapazitäten sind mit dem Schwungradspeicher 26 erreichbar, der hier eine eigene wechselrichtergesteuerte elektrische Maschine 27 und eine damit gekoppelte Schwungmasse 28 umfaßt. Letztere kann durch ein gesondertes Schwungrad gebildet oder in den Läufer der elektrischen Maschine 27 integriert sein. Das Massenträgheitsmoment der Schwungmasse 28 beträgt vorzugsweise 0,05 bis 2 kgm<sup>2</sup>. Es ist auch möglich, in dem Schwungradspeicher 26 ein Mehrfaches der zum Starten des Verbrennungsmotors 1 benötigten Energie zu speichern und ihm zum Starten schnell (d.h. in weniger als einer Sekunde) die jeweils nötige Startenergie zu entnehmen.

[0071] Der Zwischenkreis mit seinem hohen Spannungsniveau (hier 60 V oder 350 V) versorgt verschiedene Hilfsantriebe 29, wie eine Klimamaschine und Servoantriebe, sowie verschiedene Heizeinrichtungen 30, wie Motor- und Katalysatorheizungen mit elektrischer Energie. Während derartige Hochleistungsverbraucher herkömmlicherweise durch mechanische Kopplung vom Verbrennungsmotor 1 angetrieben bzw. durch Abwärme des Verbrennungsmotors 1 beheizt werden, erlaubt das hier zur Verfügung stehende hohe Spannungsniveau einen wirkungsgradmäßig günstigeren, rein elektrischen Antrieb.

[0072] Eine Steuereinrichtung 31 gibt dem Wechselrichter 17 durch entsprechende Ansteuerung seiner Halbleiterschalter zu jedem Zeitpunkt vor, welche Amplitude, Frequenz und Phase die von ihm zu erzeugende Wechselspannung haben soll. Die Steuereinrichtung 31, die beispielsweise durch ein entsprechend programmiertes Mikrocomputer-System gebildet sein kann, bestimmt in einem ersten Schritt den Betrag und die Richtung des Drehmoments, welches die elektrische Maschine 4 zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugen soll. Sie kann dies z.B. mit Hilfe einer Kennfeldsteuerung tun, indem sie als Eingangsinformation vom Drehtransformator 16 die Winkelstellung der Triebwelle 10, die momentane mittlere Drehzahl und ggf. weitere Betriebsparameter, wie z.B. die Drosselklappenstellung, erhält. Zum Starten des Verbrennungsmotors 1 kann das Soll-Drehmoment auf der Grundlage gespeicherter Werte bestimmt werden, die den zeitlichen Soll-Verlauf der Drehzahl oder des Drehmoments der elektrischen Maschine 4 während des Startvorgangs vorgeben, ggf. ergänzt durch eine Messung dieser Größen und eine rückgekoppelte Regelung, welche die Einhaltung der Vorga-

ben sicherstellt. Ein (nicht gezeigtes) Energieverbrauchs-Steuergerät gibt an, wieviel Energie zum Laden der Fahrzeugbatterie 11, zur Versorgung der Niederspannungsverbraucher 23 und der Hochleistungsverbraucher 29, 30 benötigt wird, so daß die Steuereinrichtung 31 ein entsprechendes bremsendes Drehmoment veranlassen kann. Ein Motorsteuergerät 33 gibt der Steuereinrichtung 31 vor, ob und in welchem Maß die elektrische Maschine 4 zusätzlich fahrzeugbeschleunigend oder -bremsend wirken soll, so daß diese ein entsprechendes Drehmoment, etwa zur Glättung der Momentenkennlinie des Verbrennungsmotors 1 (z. B. zum Ausfüllen eines "Turbo-Lochs" bei niedrigeren Drehzahlen), erzeugen kann. Entsprechend gibt ein ASR-Steuergerät 34 (ASR=Antriebs-Schlupf-Regelung) der Steuereinrichtung 31 bei Vorliegen von Antriebsschlupf vor, daß die elektrische Maschine 4 vorübergehend als generatorische Bremse wirken soll, ggf. bevor das ASR-Steuergerät bei verbleibendem Antriebsschlupf als massivere Maßnahme ein Einbremsen der betroffenen Antriebsräder durch die Radbremse veranlaßt. Zusätzlich kann das ASR-Steuergerät seine Schlupfinformation an das Motorsteuergerät 33 übergeben, um außerdem eine Verringerung des Verbrennungsmotor-Drehmoments zu veranlassen. Das Motorsteuergerät 33 kann auch eine automatische Start-Stop-Steuerung durchführen und der Steuereinrichtung 31 vorgeben, ob die elektrische Maschine 4 den Verbrennungsmotor 1 starten soll.

[0073] Die aktive Verringerung von Drehungleichförmigkeiten kann so gesteuert werden, daß aus einem gespeicherten Kennfeld die momentan zu erwartende Drehungleichförmigkeit in Abhängigkeit von den o.g. Betriebsparametern ermittelt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die tatsächlich momentan vorliegende Drehungleichförmigkeit zu ermitteln, z.B. durch Berechnung der momentanen Drehgeschwindigkeit auf der Grundlage der vom Drehtransformator 16 gelieferten Information und/oder durch Auswertung der momentan im Verbrennungsmotor 1 vorliegenden Gasdrücke, welche mit Hilfe von Gasdrucksensoren 32 detektierbar sind, oder durch Erfassung der momentanen Drehmoments des Verbrennungsmotors 1 mit Hilfe einer (nicht gezeigten) Drehmomentnabe im Antriebsstrang. Möglich ist auch eine Kombination von Regelung und Steuerung. Aus dem so ermittelten Wert für die momentane Drehungleichförmigkeit wird ein entsprechender (gegenphasiger) Wert für das schnell variierende Soll-Drehmoment der elektrischen Maschine 4 abgeleitet, das dem bremsenden (oder ggf. antreibenden) Gleich-Drehmoment additiv überlagert wird.

[0074] In einem zweiten Schritt bestimmt die Steuereinrichtung 31, welche Amplitude, Frequenz und Phase der Spannung bzw. des Stroms vom Wechselrichter 17 bereitgestellt werden muß, damit die elektrische Maschine 4 dieses Soll-Gesamtdrehmoment herbeiführt. Diese Bestimmung erfolgt bei der elektrischen Asynchronmaschine auf der Grundlage einer feldorientierten

Regelung, welche auf einer Modellrechnung der elektrischen Maschine 4 beruht und als Eingangsinformation im wesentlichen die meßbaren elektrischen Ständergrößen (Amplitude, Frequenz und Phase von Strom und Spannung) und die momentane mittlere Läuferdrehzahl verwendet oder sich aus elektrischen Größen ableitet.

[0075] In Fig. 1 ist die Steuereinrichtung 31 als außerhalb des Wechselrichtergehäuses 21 angeordnet dargestellt. Um an der Siedebadkühlung zu partizipieren, ist sie jedoch bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen im Inneren des Wechselrichtergehäuses 21 angeordnet.

[0076] Die Steuereinrichtung 31 kann verschiedene, zur Erfüllung ihrer Steueraufgaben dienende Sensoren bzw. davon abgeleitete Sensorinformationen mit dem Motorsteuergerät 33 zur Steuerung des Verbrennungsmotors 1 teilen. Es kann sich z.B. um den Drehtransformator 16 (Winkellagegeber), die Gasdrucksensoren 32, daneben (nicht gezeigte) Sensoren zur Erfassung der mittleren Drehzahl, des Lastzustandes des Verbrennungsmotors 1 (z.B. über die Drosselklappenstellung) und dessen Drehmoments (z.B. mit Hilfe einer Drehmomentnabe) handeln.

[0077] Die bei den Zusatzfunktionen durch Bremsen gewonnene Energie wird im Zusatzspeicher 24 zwischengespeichert, um zum späteren Antreiben der elektrischen Maschine 4 wiederverwendet oder der Fahrzeugbatterie 11 zugeleitet zu werden.

[0078] Die Fig. 2a - 2c veranschaulichen den Generatorbetrieb zusammen mit der Zusatzfunktion "aktive Schwingungsdämpfung". Fig. 2a zeigt (mit durchgezogener Linie) die Drehzahl  $n$  der Kurbelwelle 10 als Funktion des Kurbelwellenwinkels  $\varphi$ . Die Welle führt um eine mittlere Drehzahl (hier 3000 Umdrehungen pro Minute) periodisch Drehzahlschwankungen zu kleineren und größeren Drehzahlen hin aus, welche in diesem idealisierten Beispiel insgesamt einen im wesentlichen sinusförmigen Verlauf haben. Es handelt sich um von den Gas- und Massenkräften herrührende Drehungleichförmigkeiten, die hier in der zweiten Ordnung (d.h. bei einer Frequenz von 100 Hz) auftreten. Zur Veranschaulichung ist auch das für eine Umdrehung der Welle benötigte Winkelintervall eingezeichnet. Im wesentlichen proportional zu den Drehungleichförmigkeiten sind Schwankungen des Drehmoments  $M_v$  des Verbrennungsmotors um ein mittleres Drehmoment. Die durchgezogene Linie in Fig. 2a veranschaulicht damit auch den Verlauf des Motor-Drehmoments  $M_v$  als Funktion des Kurbelwellenwinkels  $\varphi$ .

[0079] Fig. 2b zeigt das von der elektrischen Maschine 4 als Funktion des Wellenwinkels  $\varphi$  aufgebrachte Drehmoment  $M_e$ , wobei zwecks besserer Anschaulichkeit der zur Generatorfunktion gehörige bremsende Drehmomentanteil noch nicht dargestellt ist. Der Verlauf des Maschinendrehmoments  $M_e$  ist im wesentlichen gegenphasig betragsgleich zur Ungleichförmigkeit des Motor-Drehmoments  $M_v$ . Im Ergebnis wird die Drehungleichförmigkeit - und die zu ihr proportionale Schwan-

kung des Drehmoments  $M_v$  - wesentlich verringert, oder sie verschwindet sogar praktisch, wie in Fig. 2a durch die gestrichelte Linie veranschaulicht ist.

[0080] In Fig. 2b sind die negativen und positiven Drehmomentextrema betragsmäßig gleich groß. Die bei einer Bremsphase gewonnene Energie ist also im wesentlichen gleich groß wie die bei der folgenden Antriebsphase aufzuwendende Energie. Der Energiefluß nach außen ist somit Null, es wird nur im Inneren des System zeitweise Bremsenergie zwischengespeichert. Das System arbeitet also gemäß Darstellung der Fig. 2b als reiner Drehungleichförmigkeits-Verringerer mit schnell variierendem Drehmoment, ohne Generatorfunktion.

[0081] Fig. 2c zeigt die Überlagerung beider Funktionen: Die Generatorfunktion verschiebt das Drehmoment gemäß Fig. 2b global um einen bestimmten Betrag  $\Delta M_e$  (den sog. Hub) in negative Richtung. Der Hub  $\Delta M_e$  variiert i. a. langsam, in dem hier dargestellten kurzen Zeitraum von ungefähr einer Umdrehungsperiode ist er in guter Näherung konstant. Er ist für die üblicherweise benötigten Generatorleistungen kleiner als die Amplitude der schnellen Variation des Drehmoments, so daß das Gesamt-Drehmoment  $M_e$  alternierend positive und negative Werte annimmt. Gemittelt über die schnelle Drehmomentvariation erhält man ein konstantes Drehmoment -  $\Delta M_e$ . Dem Verbrennungsmotor wird also im Mittel mechanische Energie entzogen, die in elektrische Energie umgewandelt und dem System zum Laden der Fahrzeugbatterie 11 und/oder zum Betreiben elektrischer Verbraucher 23, 29, 30 entnommen wird. Bei reiner Generatorfunktion ohne Schwingungsdämpfung erzeugt die elektrische Maschine 4 ein konstantes Drehmomententsprechend der strichpunktlierten Linie  $\Delta M_e$  in Fig. 2c.

[0082] Falls z.B. bei Fahrzeugbremsung der Hub  $\Delta M_e$  größer als die Amplitude zur Verringerung der Drehungleichförmigkeit wird, wirkt die elektrische Maschine 4 nur noch bremsend und nicht mehr antreibend. Der globale Drehmomentverlauf kann auch in positiver Richtung verschoben sein (positiver Hub). Die elektrische Maschine arbeitet dann als (antreibender) Motor, z.B. um den Verbrennungsmotor bei einer Fahrzeugbeschleunigung zu unterstützen.

[0083] Allein durch eine entsprechende Einstellung der (Software-)Steuerung der elektrischen Maschine - ohne jegliche konstruktive (Hardware-)Änderungen - sind kleine und sehr große Generatorleistungen einstellbar. Begrenzend wirkt nur die Größe der elektrischen Maschine und der Leistungselektronik. Damit kann ein und der selbe Maschinentyp beispielsweise für kleine und große Kraftfahrzeugtypen ohne konstruktive Anpassung verwendet werden.

[0084] Die in Fig. 3 näher dargestellte elektrische Maschine 4 ist bürsten- bzw. schleiferlos und damit verschleißfrei. Sie hat einen Außendurchmesser von ungefähr 300 mm und eine Länge in Axialrichtung von 70 mm und erbringt bei einem Gewicht von 10-15 kg ein Dau-

erdrehmoment von ca. 50 Nm und ein Spitzendrehmoment von ca. 150 Nm. Sie kann Drehzahlen erreichen, die den Spitzendrehzahlen üblicher Verbrennungsmotoren (ca. 6000 bis 10000 U/min) entspricht und ist drehzahlfest bis 14000 U/min. Die elektrische Maschine 4 hat einen außenliegenden Ständer 8, welcher Nuten 35 in Richtung der Triebwelle 10 (Axialrichtung) aufweist. Der Ständer 8 trägt eine Drei-Phasen-Wicklung 36, die so ausgebildet ist, daß sie bei Beaufschlagung mit Drei-Phasen-Strom zwölf magnetische Pole ausbildet. Pro Pol sind drei Nuten 35, insgesamt also sechsunddreißig Nuten 35 vorhanden. (Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen sind zwecks Verringerung von Streueffekten pro Pol wenigstens sechs, bevorzugt neun Nuten vorhanden.) Die Pole laufen mit der Drehstrom-Oszillation in einer Kreisbewegung im Ständer 8 um. Für einen bestimmten Zeitpunkt ist ihre momentane Lage durch Pfeile, welche die Bezugszeichen "S" (für Südpol) und "N" (für Nordpol) tragen, veranschaulicht. Ein die Nuten 35 nach außen abschließender, in Umfangsrichtung durchgehender Rückenteil 37 ist in Radialrichtung relativ dünn, seine Dicke beträgt (an der Stelle einer Nut 35) beispielsweise 3-25 mm. Der Ständer 8 ist aus dünnen Statorblechen (die Dicke beträgt hier 0,25 mm) aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten (hier kleiner als 1 W/kg bei 50 Hz und einem Tesla) aufgebaut, mit senkrecht zur Axialrichtung verlaufenden Blechebenen.

[0085] Der innenliegende Läufer 9 ist bei der Asynchron-Maschine als Käfigläufer mit im wesentlichen in Axialrichtung verlaufenden Käfigstäben, die jeweils stirnseitig mit einem Kurzschlußring 38 verbunden sind, ausgebildet. Beim der Synchronmaschine trägt der Läufer 9 die gleiche Anzahl von Polen wie der Ständer 8 (hier zwölf Pole), die durch Permanentmagnete oder entsprechend erregte Spulen gebildet sein können. In Fig. 3 ist die Synchronmaschine ebenfalls veranschaulicht, indem die bei ihr vorhandenen Läuferpole (Bezugsziffer 39) schematisch angedeutet sind. Strom zur Speisung der (nicht gezeigten) Läuferwicklung, welche diese Pole hervorbringt, wird dem Läufer über Schleifringe zugeführt.

[0086] Der Luftspalt 40 zwischen Läufer 9 und Ständer 8 ist relativ groß; seine Weite beträgt hier 1 mm.

[0087] Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist der Läufer außenliegend und der Ständer innenliegend.

[0088] Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist in der elektrischen Maschine 4 die Kupplung 5 praktisch vollständig integriert. Innerhalb des z.B. am Motor- oder Getriebegehäuse drehfest gelagerten Ständers 8 ist der Läufer 9 an seiner Peripherie einseitig über einen axial seitlich ausragenden Käfig 54 mit der Triebwelle 10 des Verbrennungsmotors 1 drehfest verbunden. Der Läufer 9 ist innen hohl und hat im wesentlichen die Form eines flachen Kreiszylinder-Mantels. In dem Hohlraum ist die Kupplung 5 - hier eine als Fahrkupplung fungierende Lamellenkupplung (Vielflächen-Reibscheibenkupplung) -

angeordnet. Sie kann einen Kraftschluß zwischen der Triebwelle 10 mit dem Läufer 9 und einer in den Hohlraum ragenden Abtriebswelle 55 zum Getriebe 6 herstellen. Hierzu ist der Läufer 9 innenverzahnt und die Abtriebswelle 55 im Bereich des Hohlraums 55 außenverzahnt. In dem Raum dazwischen ist ein Scheibenpaket 56 angeordnet, dessen Scheiben 57 abwechselnd außen- und innenverzahnt sind, so daß abwechselnd jeweils eine Scheibe mit dem Läufer 9 (Außenlamelle 57a) und die nächste Scheibe mit der Abtriebswelle 55 (Innenlamelle 57b) formschlüssig verbunden ist. Ohne axialen Druck können die Außen- und Innenlamellen 57a, 57b praktisch frei gegeneinander rotieren, die Wellen 10, 55 sind dann entkuppelt. Preßt man die Außen- und Innenlamellen 57a, 57b mit Hilfe einer (nicht dargestellten) Druckvorrichtung (z.B. eines Winkelhebels) in Axialrichtung zusammen, stellen die entstehenden Reibkräfte den Kraftschluß zwischen den Wellen 10, 55 her, so daß sich das vom Verbrennungsmotor 1 und der elektrischen Maschine 4 erzeugte Drehmoment auf die Abtriebswelle 55 überträgt. Der Kraftschlußteil (d.h. hier das Scheibenpaket 56) der Kupplung 5 findet vollständig im Läufer 9 Platz, ragt also nicht etwa in Axialrichtung seitlich aus ihm heraus. Die Kupplung 5 ist als Naßkupplung ausgeführt. Das Kupplungsöl dient gleichzeitig der Kühlung der elektrischen Maschine 4. Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen sind andere schaltbare kraftschlüssige Kupplungen integriert, z.B. eine Einscheiben-Kupplung in Trocken- oder Naßbauweise.

[0089] Fig. 5 zeigt einen schematischen Schaltplan des Wechselrichters 17. Man erkennt den Zwischenkreisspeicher 19 in Form einer Kapazität, welcher der (hier nicht näher dargestellte) Zusatzspeicher 24 parallelgeschaltet ist. Die Kapazität symbolisiert eine Parallelschaltung mehrerer Kondensatoren.

[0090] Der Maschinenwechselrichter 20 wird durch drei parallelgeschaltete (aber unabhängig schaltbare) Schaltergruppen 42 gebildet, wobei jede der Schaltergruppen 42 für die Erzeugung jeweils einer der drei Drei-Phasen-Spannungen zuständig ist. Jede der Schaltergruppen 42 ist eine Serienschaltung zweier (unabhängig schaltbarer) Schalter 43 zwischen dem Plus- und dem Minuspol des Zwischenkreises. Die Serienschaltung ist mittig (d.h. zwischen den Schaltern 43) mit einer Seite jeweils einer der drei Wicklungen 36a, 36b, 36c der Drei-Phasenwicklung 36 verbunden; an der anderen Seite sind die drei Wicklungen 36a, 36b, 36c miteinander verbunden.

[0091] Parallel zu den Schaltern 43 ist jeweils eine Freilaufdiode 44 geschaltet. Sie ist so gepolt, daß sie normalerweise sperrt und, nur wenn der gegenüberliegende Schalter geöffnet wird, einen aufgrund von Selbstinduktion erzeugten, kurzzeitigen Stromfluß in Gegenrichtung durchläßt.

[0092] Jeder Schalter 43 symbolisiert eine Parallelschaltung von mehreren (z.B. fünf) MOS-Feldeffekttransistoren, welche von der Steuereinrichtung 31 zur Bil-

dung eines Drei-Phasen-Stroms gewünschter Amplitude, Frequenz und Phase direkt angesteuert werden.

[0093] Der Gleichspannungsumsetzer 18 umfaßt zwei Unter-Baugruppen, nämlich eine, welche elektrische Energie von dem niedrigen Spannungsniveau (12 V) auf das hohe Zwischenkreis-Spannungsniveau (60 V bzw. 350 V) bringen kann, und eine andere, welche - umgekehrt - elektrische Energie von dem hohen Spannungsniveau (60 V bzw. 350 V) auf das niedrige Spannungsniveau (12 V) bringen kann. Bei Ausführungsformen mit im Zwischenkreis angeordneter Fahrzeugbatterie kann die erstgenannte Unter-Baugruppe entfallen.

[0094] Bei der ersten Unter-Baugruppe handelt es z. B. sich um einen Hochsetzsteller 45. Dieser wird durch eine Serienschaltung einer mit dem Pluspol der Fahrzeugbatterie 11 verbundenen Induktivität 46 und einen mit deren Minuspol und dem Minuspol des Zwischenkreises verbundenen Schalter 47 gebildet, wobei diese Serienschaltung mittig über eine (in Durchlaßrichtung gepolte) Hochsetzdiode 48 mit dem Pluspol des Zwischenkreises verbunden ist. Bei geschlossenem Schalter 47 fließt ein Kreisstrom vom Plus- zum Minuspol der Fahrzeugbatterie 11. Nach Öffnen des Schalters 47 sucht eine Selbstinduktionsspannung ein Zusammenbrechen dieses Stromes zu verhindern, mit der Folge, daß kurzzeitig das hohe Zwischenkreis-Spannungsniveau (350 V) überschritten wird und Strom durch die (ansonsten sperrende) Hochsetzdiode 48 fließt und den Zwischenkreisspeicher 19 auflädt. Durch periodisches Öffnen und Schließen des Schalters 47 erzielt man einen quasi-stationären Ladestrom, z. B. als Vorbereitung des Startvorgangs. Bei dem Schalter 47 handelt es sich um einen Halbleiterschalter, welcher direkt von der Steuereinrichtung 31 angesteuert wird.

[0095] Die zweite Unter-Baugruppe ist z. B. ein Spannungsuntersetzter 49, der ähnlich einem Schaltnetzteil funktioniert. Er umfaßt zwei Serienschaltungen von Schaltern 50 zwischen dem Plus- und Minuspol des Zwischenkreises, mit jeweils parallelgeschalteten Freilaufdioden 51. Die Enden einer Primärwicklung eines Hochfrequenz (HF)-Transformators 52 sind jeweils mit den Mitten dieser Serienschaltungen verbunden. Die Sekundärwicklung des HF-Transformators 52 speist eine Gleichrichtungs- und Glättungseinheit 53, welche wiederum die Fahrzeugbatterie 11 und ggf. Niederspannungsverbraucher 23 speist. Die Schalter 50 symbolisieren Halbleiterschalter, welche direkt von der Steuereinrichtung 31 angesteuert werden. Durch periodisches Öffnen und Schließen der Schalter läßt sich ein hochfrequenter Wechselstrom erzeugen, welcher in der Sekundärwicklung des HF-Transformators 52 eine entsprechende Wechselspannung auf niedrigerem Spannungsniveau induziert, welche durch die Einheit 53 gleichgerichtet und geglättet wird. Der genaue Wert der resultierenden Gleichspannung läßt sich mit Hilfe der Schalter 50 durch Variation der Schaltfrequenz genau einstellen.

[0096] Bei Ausführungsformen mit einer Synchron-

maschine benötigt man im Generatorbetrieb keine aktiv gesteuerten Halbleiterschalter, hier genügen zur Bildung einer Gleichrichterfunktion spannungsgesteuerte Ventile. Mit aktiv gesteuerten Schaltern erzielt man aber höhere Leistung.

[0097] Die elektrische Maschine 4 gemäß Fig. 6, welche zusätzlich die Funktion einer elektromagnetischen Kupplung und/oder Synchronisierereinrichtung hat, weist ein inneres und ein äußeres elektromagnetisches Wirkelement auf, die in Anlehnung an bei elektrischen Maschinen üblichen Bezeichnungenweisen hier Läufer 9 und Ständer 8' genannt werden. Der Läufer 9 ist drehfest mit einer z. B. mit dem Getriebe 6 gekoppelten Abtriebswelle 55 und der Ständer 8' ist drehfest mit der Triebwelle 10 verbunden (bei anderen - nicht gezeigten - Ausführungsformen ist diese Zuordnung umgekehrt). Die elektrische Maschine 4 ist also zusätzlich zur Läuferdrehung als Ganzes drehbar; der Begriff "Ständer" ist also angesichts dessen Drehbarkeit nur in einem übertragenen Sinn zu verstehen. Während es bei einer feststehenden elektrischen Maschine - z. B. einer Drehfeld-Maschine - möglich ist, die Stromzufuhr auf das feststehende Wirkelement (d. h. den Ständer) zu beschränken und im drehbaren Wirkelement (d. h. im Läufer) Ströme ohne Stromzufuhr nur durch Induktion hervorzurufen, wird hier - wo beide Wirkelemente drehbar sind - wenigstens einem von ihnen (hier dem Ständer 8') Strom über drehbewegliche elektrische Verbindungen (z. B. über hier nicht gezeigte Schleifer/Schleifring-Kontakte) zugeführt. Die Abtriebswelle 55 ist mit einer mechanischen Kupplung, hier einer gegen das Fahrzeugchassis oder das Getriebegehäuse abgestützten Bremse 62 gegen Drehung festlegbar. Die gezeigte Ausführungsform hat keine Überbrückungskupplung, andere (nicht gezeigte) Ausführungsformen sind jedoch mit einer reib- oder kraftschlüssigen Überbrückungskupplung zur mechanischen Verbindung der Wellen 10, 55 ausgerüstet.

[0098] Die elektrische Maschine 4 kann den Verbrennungsmotor 1 direkt in Abstützung gegen die durch die Bremse 62 festgelegte Abtriebswelle 55 starten. Die Generatorfunktion wird durch einen dauernd aufrechterhaltenen Kupplungsschlupf erzielt.

[0099] In der Zusatzfunktion als Schaltkupplung und ggf. als Anfahrkupplung wird (abgesehen von dem Schlupf für die Generatorfunktion) ein Gleichlauf der Wellen 10, 55 durch eine solche Einstellung der drehmomenterzeugenden magnetischen Felder der Maschine 4 erzielt, daß Drehzahlgleichheit zwischen den Wellen 10, 55 herrscht. Bei einer Asynchronmaschine wird dies beispielsweise durch die Regelung bzw. Steuerung des magnetischen Schlupfes eines entgegen der Antriebsdrehmoment-Richtung umlaufenden Drehfelds geeigneter Frequenz und Amplitude erzielt.

[0100] Zusatzbeschleunigung oder -bremsung ist durch Erzeugung entsprechenden Drehmomente - oder anders ausgedrückt - kleineren oder größeren Kupplungsschlupfes möglich. Die elektrische Maschine 4 kann in eine ASR-Regelung derart einbezogen sein,

daß bei zu großem Antriebsrad-Schlupf der Kupplungsschlupf augenblicklich vergrößert und damit das an den Antriebsrädern anliegende Moment verkleinert wird.

[0101] Eine Verringerung von Drehungleichförmigkeiten der Triebwelle 10 kann im Stand des Fahrzeugs in Abstützung gegen den dann mit Hilfe der Bremse 62 gegen Drehung festgelegten Läufer 9 erfolgen. Bei angetriebener Fahrt können Drehungleichförmigkeiten durch schnelles Variieren des übertragenen Drehmoments verringert werden, und zwar durch Verkleinerung und Vergrößerung des Kupplungsschlupfes.

#### Patentansprüche

1. Starter/Generator für einen Verbrennungsmotor (1), insbesondere eines Kraftfahrzeugs, mit
  - einer elektrischen Drehfeldmaschine (4), welche die Starter- und Generatorfunktion ausübt; und
  - wenigstens einem Wechselrichter (17), der die für die magnetischen Felder der elektrischen Maschine (4) benötigten Spannungen und/oder Ströme variabler Frequenz, Amplitude und/oder Phase durch sinusbewertete Pulsmodulation mit einer Taktfrequenz größer 10 kHz erzeugt;
  - wobei der Wechselrichter (17) einen Zwischenkreis mit einem gegenüber einem Bordnetz erhöhten Spannungsniveau aufweist;
  - und wobei der Wechselrichter (17) im Zwischenkreis mit einem Energiespeicher (19, 24) zum Speichern von Energie für den Starterbetrieb ausgerüstet ist;
  - wobei sowohl die Energieentnahme aus dem Zwischenkreis im Starterbetrieb der elektrischen Maschine (4) als auch die Energieeinspeisung in den Zwischenkreis im Generatorbetrieb auf dem erhöhten Spannungsniveau erfolgt.
2. Starter/Generator nach Anspruch 1, bei welchem die elektrische Maschine (4) den Verbrennungsmotor (1) im Zusammenlauf aus dem Stand startet.
3. Starter/Generator nach Anspruch 2, bei welchem die Relativdrehzahlen von Verbrennungsmotor (1) und elektrischer Maschine (4) im Starter- und im Generatorbetrieb gleich sind.
4. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) direkt mit einer Triebwelle (10) des Verbrennungsmotors oder eines Triebstrangs gekoppelt oder koppelbar ist.
5. Starter/Generator nach Anspruch 4, bei welchem
  - die elektrische Maschine (4) auf der Triebwelle (10) sitzt und drehfest mit ihr verbunden ist.
6. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine Asynchronmaschine, eine Synchronmaschine oder eine Reluktanzmaschine ist.
7. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine drehfelderzeugende Wirkeinheit (Ständer 8) der elektrischen Maschine (4) wenigstens acht Pole (39) aufweist.
8. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine hohe maximale Polwechselfrequenz, insbesondere zwischen 300 und 1600 Hz und mehr, hat.
9. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Ständer (8) der elektrischen Maschine (4) dünne Ständerbleche, insbesondere mit einer Dicke von 0,35 mm oder weniger, aufweist und/oder die Ständerbleche aus einem Material mit niedrigen Ummagnetisierungsverlusten, insbesondere kleiner als 1 Watt/Kilogramm bei 50 Hz und einem Tesla, gefertigt sind.
10. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) Wickelköpfe aufweist, die einen axialen Überstand zwischen 5mm und 25mm pro Seite des Ständers (8) der elektrischen Maschine (4) haben.
11. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Luftspalt zwischen Läufer (9) und Ständer (8) der elektrischen Maschine (4) zwischen 0,5mm und 1,5mm beträgt.
12. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Rückendicke des Ständers (8) der elektrischen Maschine zwischen 15mm und 30mm beträgt.
13. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine innere Fluidkühlung, insbesondere eine Sprühflüssigkeitskühlung (12), aufweist, wobei die Zufuhr des Kühlfluids insbesondere verlustleistungs- und/oder drehzahlabhängig erfolgt.
14. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) stark im Bereich magnetischer Sättigung arbeitet, insbesondere bei einem Strombelag (bei max. Drehmoment) von wenigstens 400 bis 1000 A/cm Luftspalllänge in Umfangsrichtung.

15. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) eine hohe Drehmomentdichte - bezogen auf das maximale Drehmoment - aufweist, insbesondere größer als 0,01 Nm/cm<sup>3</sup>.
16. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem elektronische Schalter (43, 47, 50) des Wechselrichters (17) fluidgekühlt, insbesondere siedebadgekühlt, sind.
17. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem mehrere elektronische Schalter (43) des Wechselrichters (17), insbesondere 2 bis 20 und mehr, parallel geschaltet sind.
18. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der Wechselrichter (17) als Schalter (43, 47, 50) Halbleiterschalter, insbesondere schnelle Halbleiterschalter, wie Feldeffekttransistoren, bipolare Transistoren und/oder bipolare Transistoren mit isoliertem Gateanschluß (IGBTs) umfaßt.
19. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem aus dem Zwischenkreis Hilfsmaschinen, wie Klimamaschinen (29), Servoantriebe (30), Pumpen, elektrisch auf einem hohen Spannungsniveau angetrieben werden.
20. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) auch als Generator für Heizzwecke dient.
21. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welcher Teil eines Antriebssystems mit einer automatischen Start-Stop-Steuerung des Verbrennungsmotors (1) ist.
22. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) ein Beschleunigen und/oder Abbremsen der Triebwelle herbeiführen oder unterstützen kann, insbesondere um ein Fahrzeug zu beschleunigen bzw. abzubremesen und/oder um im Rahmen einer Anti-Schlupf-Regelung durch Bremsen des Verbrennungsmotors und/oder wenigstens eines Antriebsrades den Schlupf eines Antriebsrades zu verringern.
23. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (4) als elektromagnetische Kupplung im Antriebsstrang (2) und/oder als aktive Getriebe-Synchronisereinrichtung oder als ein Teil hiervon wirkt.
24. Starter/Generator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine

(4) außerdem der Verringerung von Drehungleichförmigkeiten dient, indem sie ein schnell alternierendes gegenphasiges Drehmoment erzeugt.

5

# Claims

10

1. A starter/generator for an internal combustion engine (1), especially that of a motor vehicle, with

15

- an electric rotary-field machine (4), which exercises the starter and generator function; and
- at least one inverter (17) which generates the voltages and/or currents of variable frequency, amplitude, and/or phase that are required for the magnetic fields of the electric machine (4) by sine-evaluated pulse modulation with a clock frequency greater than 10 kHz;
- wherein the inverter (17) has an intermediate circuit with a voltage level that is higher than an on-board network;
- and wherein the inverter (17) in the intermediate circuit is equipped with an energy accumulator (19, 24) to store up energy for the starter operation;
- wherein both the withdrawal of energy from the intermediate circuit in the starter operation of the electric machine (4) and the storage of energy in the intermediate circuit in the generator operation take place at the elevated voltage level.

20

25

30

2. A starter/generator according to Claim 1, in which the electric machine (4) starts the internal combustion engine (1) by merging in from standstill.

35

3. A starter/generator according to Claim 2, in which the relative rotary speeds of internal combustion engine (1) and electric machine (4) are equal in the starter and in the generator operation.

40

4. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) is coupled or can be coupled directly to a drive shaft (10) of the internal combustion engine or of a drive train.

45

5. A starter/generator according to Claim 4, in which the electric machine (4) is mounted on the drive shaft (10) and joined to it in torsion-free manner.

50

6. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) is an induction machine, a synchronous machine, or a reluctance machine.

55

7. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which one rotary field generating element (stator 8) of the electric machine (4) has at



least eight poles (39).

8. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) has a high maximum pole reversal frequency, in particular between 300 and 1600 Hz and more. 5
9. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the stator (8) of the electric machine (4) has thin stator plates, in particular with a thickness of 0.35 mm or less, and/or the stator plates are made from a material with low remagnetisation losses, in particular less than 1 Watt/kilogram at 50 Hz and one Tesla. 10
10. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) has winding heads which have an axial projection of between 5 mm and 25 mm for each side of the stator (8) of the electric machine (4). 15
11. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the air gap between rotor (9) and stator (8) of the electric machine (4) is between 0.5 mm and 1.5 mm. 20
12. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the back thickness of the stator (8) of the electric machine (4) is between 15 mm and 30 mm. 25
13. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) has an internal fluid cooling, in particular, a spray fluid cooling (12), wherein the supply of cooling fluid takes place in dependence in particular on the loss power and/or rotary speed. 30
14. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) works far into the magnetic saturation region, in particular, at a current coverage (at maximum torque) of at least 400 to 1000 A/cm air gap length in the circumferential direction. 35
15. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) has a high torque density - in terms of the maximum torque - in particular, greater than 0.01 Nm/cm<sup>3</sup>. 40
16. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which electronic switches (43, 47, 50) of the inverter (17) are fluid-cooled, in particular, boiling bath cooled. 45
17. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which several electronic switches (43) of the inverter (17), in particular, 2 to 20 and more, 50

are connected in parallel.

18. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the inverter (17) contains, as switches (43, 47, 50), semiconductor switches, in particular, fast semiconductor switches, such as field-effect transistors, bipolar transistors, and/or bipolar transistors with insulated gate connection (IGBTs). 55
19. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which auxiliary machines, such as air conditioners (29), servo-drives (30), pumps, are electrically operated at a high voltage level from the intermediate circuit.
20. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) also serves as a generator for heating purposes.
21. A starter/generator according to one of the preceding claims, which is part of a drive system with an automatic start/stop control of the internal combustion engine (1).
22. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) can produce or sustain an acceleration and/or braking of the drive shaft, in particular, in order to accelerate or brake a vehicle and/or in order to reduce the slip of a drive wheel in the context of an anti-slip control system by braking the internal combustion engine and/or at least one drive wheel.
23. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) acts as an electromagnetic coupling in the drive train (2) and/or as an active transmission synchronization device or as a part thereof.
24. A starter/generator according to one of the preceding claims, in which the electric machine (4) also serves to reduce rotational non-uniformities by generating a quickly alternating opposite-phase torque.

#### Revendications

1. Démarreur/générateur pour un moteur à combustion (1), notamment d'un véhicule automobile, comportant:
  - une machine électrique à champ tournant (4), qui assume la fonction de démarreur et de générateur; et
  - au moins un onduleur (17) qui produit les tensions et/ou courants, qui sont nécessaires pour les champs magnétiques de la machine élec-

- trique (4) et possèdent une fréquence, une amplitude et/ou une phase variables par modulation par impulsions à fonction sinusoïdale, avec une fréquence de cadencement supérieure à 10 kHz;
- dans lequel l'onduleur (17) comporte un circuit intermédiaire ayant un niveau de tension élevé par rapport à un réseau de bord; et
  - dans lequel l'onduleur (17) situé dans le circuit intermédiaire est équipé d'un accumulateur d'énergie (19, 24) servant à accumuler une énergie pour le fonctionnement en démarreur;
  - dans lequel aussi bien le prélèvement d'énergie dans le circuit intermédiaire lors du fonctionnement en démarreur de la machine électrique (4) ainsi que l'alimentation en énergie dans le circuit intermédiaire dans le fonctionnement en mode générateur s'effectue au niveau accru de tension.
2. Démarreur/générateur selon la revendication 1, dans lequel la machine électrique (4) fait démarrer le moteur à combustion (1) d'une manière synchrone à partir de l'arrêt.
  3. Démarreur/générateur selon la revendication 2, dans lequel les vitesses de rotation relatives du moteur à combustion (1) et de la machine électrique (4) sont identiques dans le fonctionnement en démarreur et dans le fonctionnement en générateur.
  4. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) est couplée ou peut être couplée directement à un arbre d'entraînement (10) du moteur à combustion ou d'une chaîne motrice.
  5. Démarreur/générateur selon la revendication 4, dans lequel la machine électrique (4) est montée sur l'arbre d'entraînement (10) et est reliée d'une manière bloquée en rotation sur cet arbre.
  6. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) est une machine asynchrone, une machine synchrone ou une machine à reluctance.
  7. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel une unité active (stator 8), qui produit le champ tournant, de la machine électrique (4) possède au moins huit pôles (39).
  8. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) possède une fréquence d'alternance polaire maximale élevée, notamment comprise entre 300 et 1600 Hz et plus.
  9. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le stator (8) de la machine (4) possède des tôles statoriques minces, possédant notamment une épaisseur de 0,35 mm ou moins, et/ou que les tôles statoriques sont fabriquées en un matériau possédant de faibles pertes par inversion d'aimantation, notamment inférieures à 1 watt/kilogramme à 50 Hz, et un tesla.
  10. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) possède des têtes de bobinage, qui présentent un débordement axial compris entre 5 mm et 25 mm de chaque côté du stator (8) de la machine électrique (4).
  11. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'entrefer entre le rotor (9) et le stator (8) dans la machine électrique (4) est compris entre 0,5 mm et 1,5 mm.
  12. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur du dos du stator (8) de la machine électrique est comprise entre 15 mm et 30 mm.
  13. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) possède un refroidissement intérieur par fluide, notamment un refroidissement par un fluide projeté (12), l'amenée du fluide de refroidissement s'effectuant notamment en fonction de la puissance dissipée et/ou en fonction de la vitesse de rotation.
  14. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) travaille fortement dans la zone de saturation magnétique, notamment avec une densité de courant linéique (pour le couple maximum) d'au moins 400 à 1000 A/cm de longueur d'entrefer dans la direction circonférentielle.
  15. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) possède une densité de couple élevée - rapportée au couple maximum -, notamment supérieure à 0,01 Nm/cm<sup>3</sup>.
  16. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel des interrupteurs électroniques (43, 47, 50) de l'onduleur (17) sont refroidis par un fluide et notamment sont refroidis par un bain porté à ébullition.
  17. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel plusieurs interrupteurs électroniques (43) de l'onduleur (17), notamment 2 à 20 et davantage, sont branchés en paral-

lèles.

18. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'onduleur (17) comprend comme interrupteurs (43, 47, 50) des interrupteurs à semiconducteurs, notamment des interrupteurs à semiconducteurs rapides, tels que des transistors à effet de champ, des transistors bipolaires, et/ou des transistors bipolaires comportant une borne de grille isolée (IGBT). 5  
10
19. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel des machines auxiliaires telles que des installations de climatisation (22), des servomécanismes d'entraînement (30) et des pompes, sont entraînés électriquement à un niveau élevé de tension, à partir du circuit intermédiaire. 15
20. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) sert également de générateur pour réaliser un chauffage. 20
21. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, qui fait partie d'un système d'entraînement comportant une unité de commande marche-arrêt automatique du moteur à combustion (1). 25  
30
22. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) peut exécuter ou assister une accélération et/ou un freinage de l'arbre moteur, notamment pour accélérer ou freiner un véhicule et/ou pour réduire le glissement d'une roue motrice, dans le cas d'une régulation d'antipatinage, par freinage du moteur à combustion et/ou au moins d'une roue motrice. 35  
40
23. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) agit en tant qu'embrayage électromagnétique dans la chaîne motrice (2) et/ou en tant que dispositif actif de synchronisation de la boîte de vitesses ou en tant que partie d'un tel dispositif. 45
24. Démarreur/générateur selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la machine électrique (4) est utilisée en outre pour réduire des irrégularités de rotation, par le fait qu'elle produit un couple antagoniste, à alternance rapide. 50

55

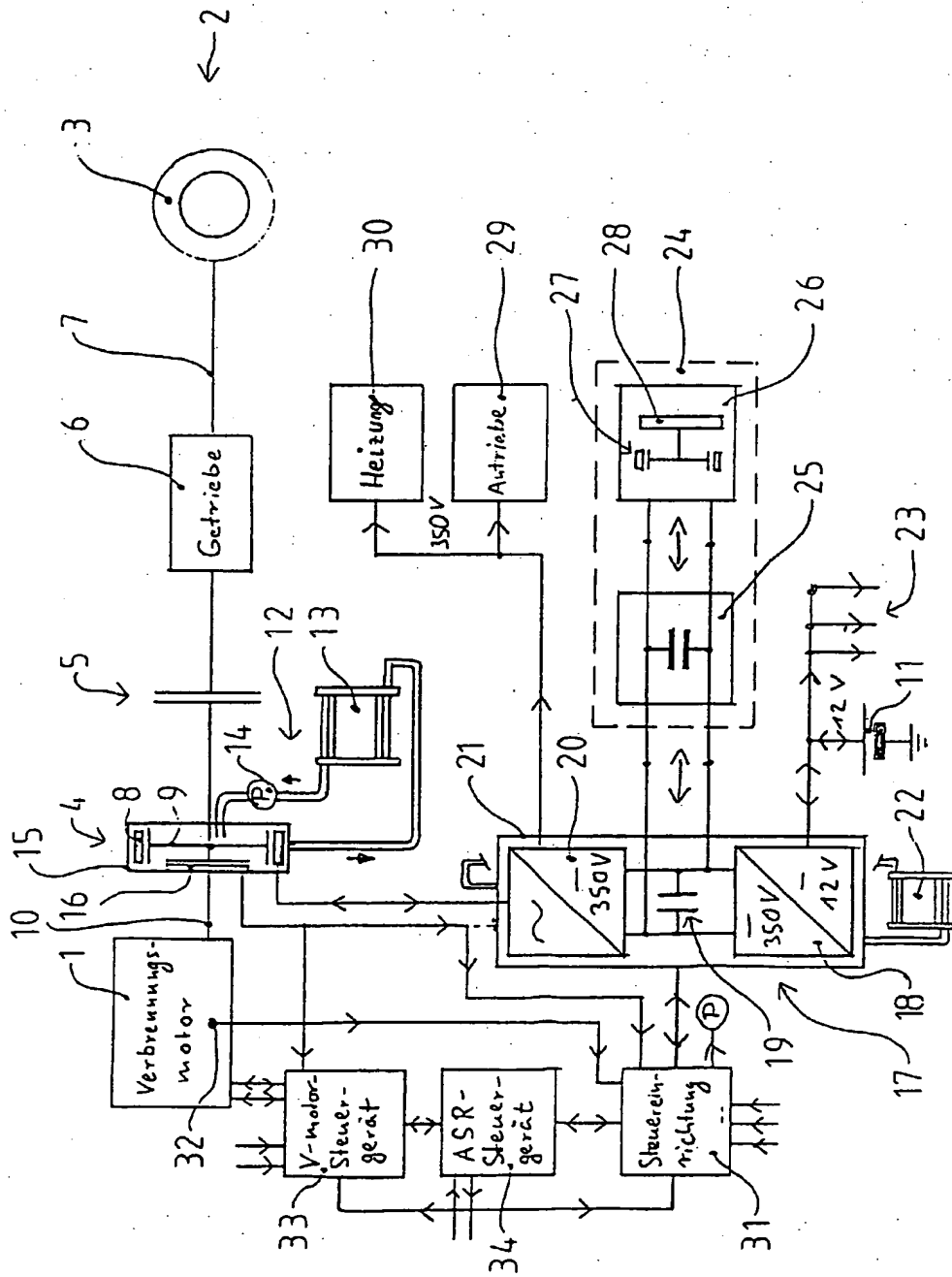
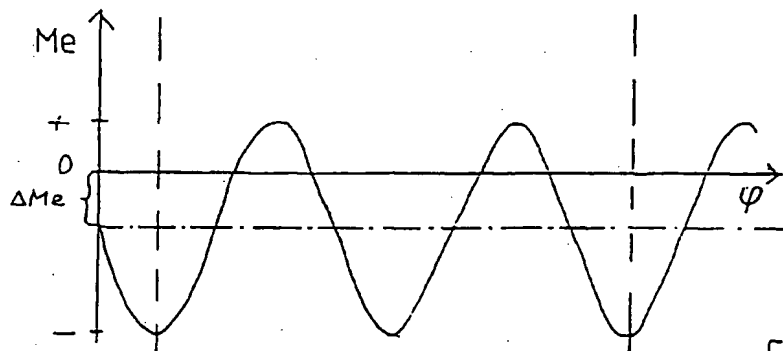
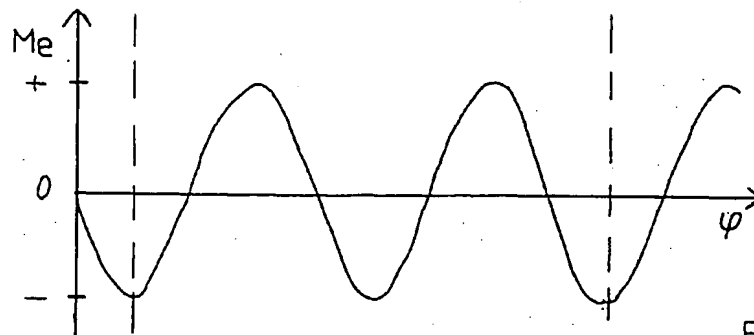
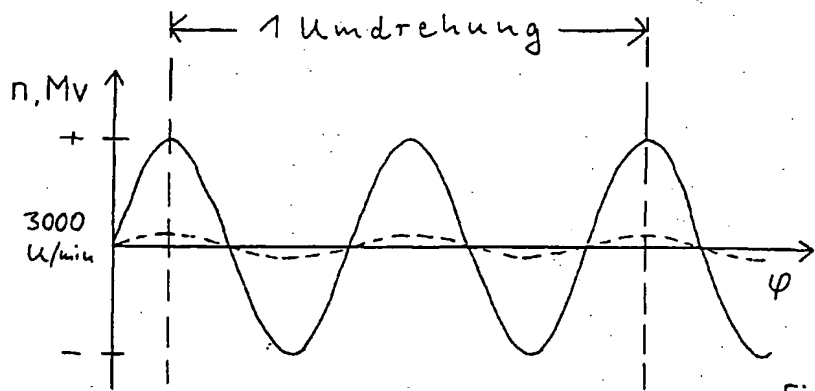


Fig. 1



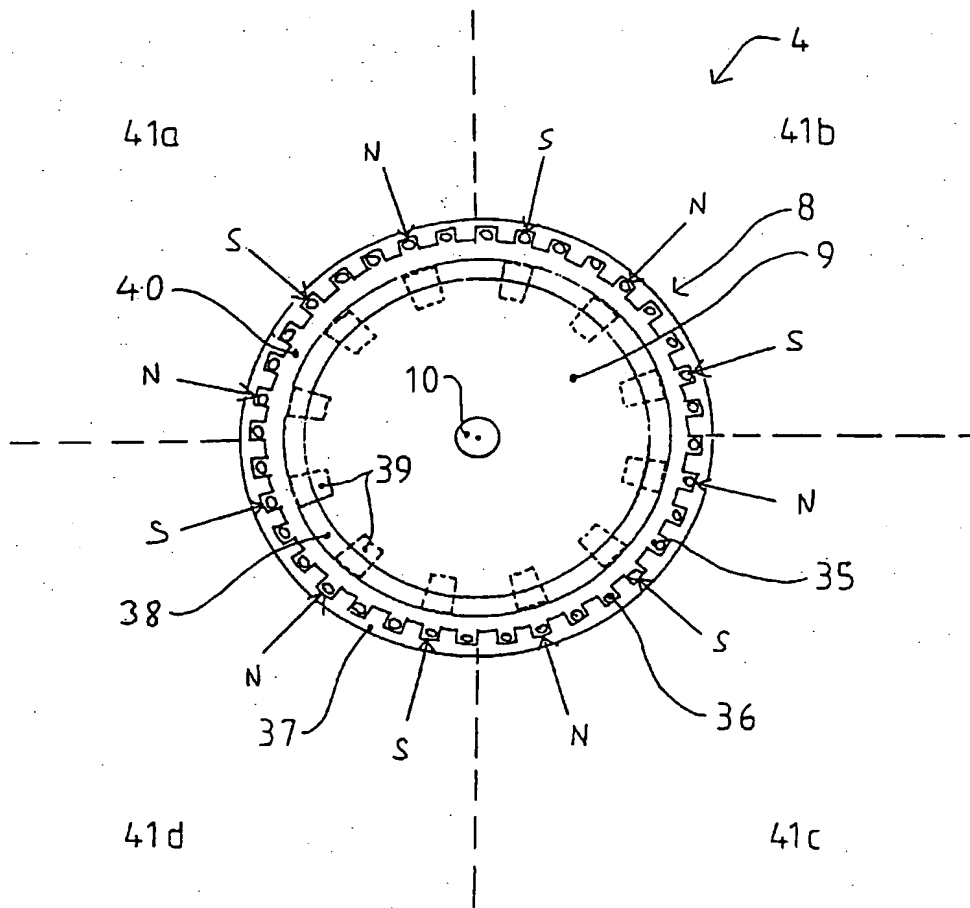


Fig. 3

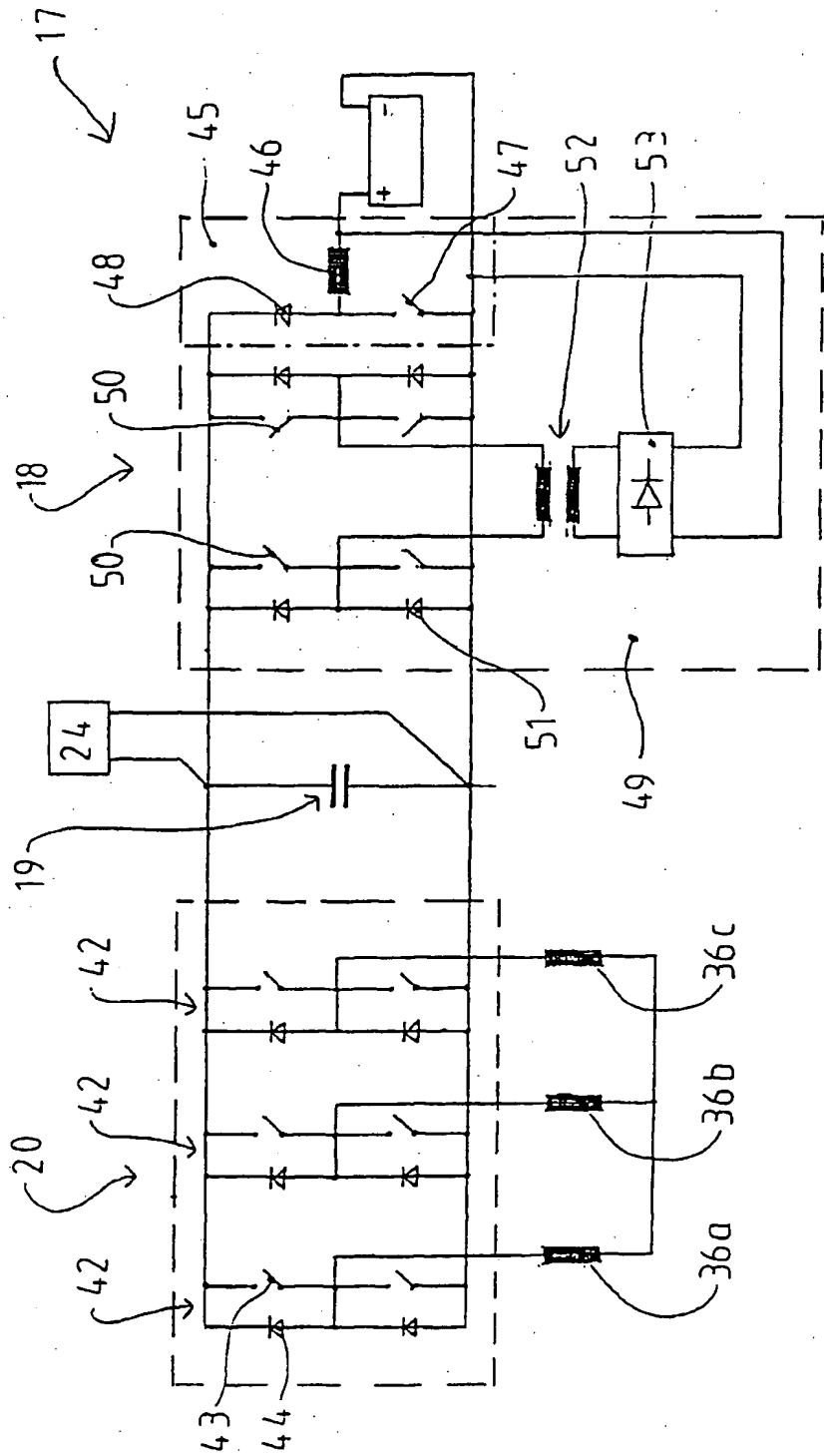


Fig. 5

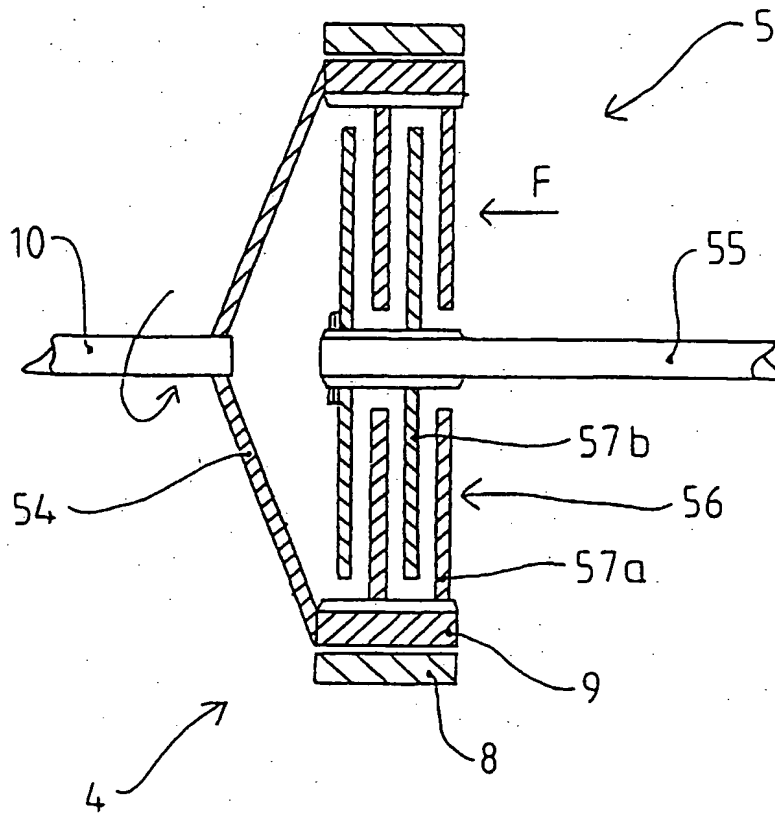


Fig. 4

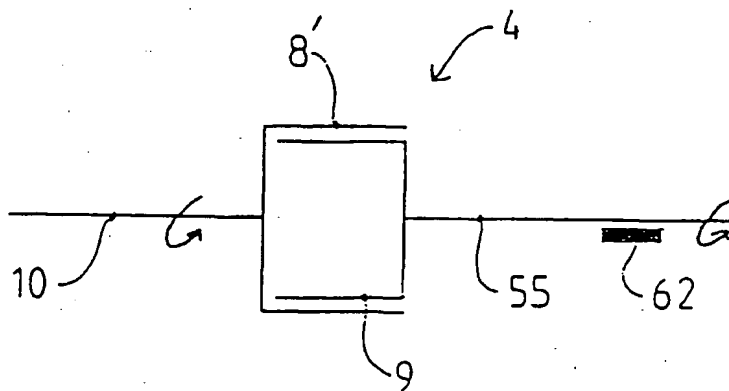


Fig. 6



# STARTER/GENERATOR FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, IN PARTICULAR A VEHICLE ENGINE

**Patent number:** EP0876554  
**Publication date:** 1998-11-11  
**Inventor:** MASBERG ULLRICH (DE); PELS THOMAS (DE); ZEYEN KLAUS-PETER (DE); GRUENDL ANDREAS (DE); HOFFMANN BERNHARD (DE)  
**Applicant:** ISAD ELECTRONIC SYS GMBH & CO (DE); GRUENDL & HOFFMANN (DE)

**Classification:**  
**- international:**

*B60K6/04; B60K6/06; B60K28/16; B60L7/28; B60L11/12; B60T1/10; F02B67/04; F02B75/06; F02D17/02; F02D29/06; F02D41/14; F02D41/36; F02N11/08; F16F15/129; F16F15/18; H02K7/108; H02K51/00; H02P29/00; B60K17/22; F16H61/04; B60K6/00; B60K28/16; B60L7/00; B60L11/02; B60T1/00; F02B67/04; F02B75/00; F02D17/00; F02D29/06; F02D41/14; F02D41/32; F02N11/08; F16F15/10; F16F15/12; H02K7/10; H02K51/00; H02P29/00; B60K17/22; F16H61/04; (IPC1-7): F02N11/04*

**- european:**

*B60K6/04; B60K6/04B4; B60K6/04B12; B60K6/04B12D; B60K6/04D2; B60K6/04D4; B60K6/04D10; B60K6/04D12; B60K6/04D14; B60K6/04F; B60K6/04H4; B60K6/04H4B; B60K6/04H6; B60K6/04H6E; B60K6/06; B60K28/16; B60K41/00D2; B60L7/28; B60L11/12; B60T1/10; F02B67/04; F02B75/06; F02D17/02; F02D29/06; F02D41/14F; F02D41/36D; F02N11/08B; F16F15/129A; F16F15/18; H02K7/108; H02K51/00; H02P29/00C*

**Application number:** EP19960937172 19960831

**Priority number(s):** WO1996DE01622 19960831; DE19951032128 19950831; DE19951032129 19950831; DE19951032135 19950831; DE19951032136 19950831; DE19951032163 19950831; DE19951032164 19950831

**Also published as:**



WO9708477 (A3)  
 WO9708477 (A2)  
 WO9708456 (A1)  
 WO9708440 (A1)  
 WO9708439 (A1)

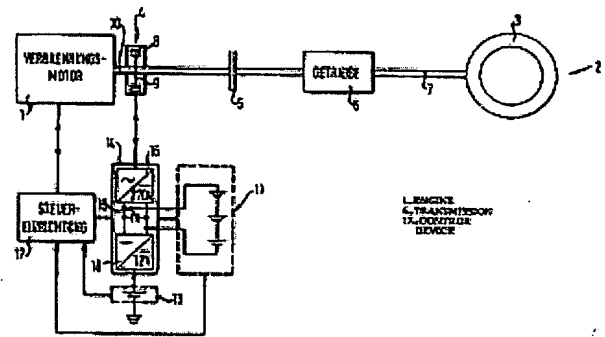
more >>

**Report a data error here**

Abstract not available for EP0876554

Abstract of corresponding document: **WO9708439**

The invention concerns a drive system with a drive engine (1), in particular a vehicle internal-combustion engine, an electrical machine (4) which can also operate in the drive mode, and at least one short-term battery (11) which supplies at least some of the power required by the electrical machine (4) when it is operating in the drive mode.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide